



“Servicios de consultoría para la elaboración de análisis de riesgo de los equinodermos *Asterias amurensis*, *Acanthaster planci*, *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica*, *Ophiactis savignyi* y el coral *Carijoa riisei* y un protocolo de detección temprana y respuesta rápida ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y el coral *Carijoa riisei* en México”

Primer Informe Parcial

Servicio de consultoría individual: **Cristian Moisés Galván Villa**

15 de diciembre de 2018



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros.”

Título: Servicios de consultoría para la elaboración de análisis de riesgo de los equinodermos *Asterias amurensis*, *Acanthaster planci*, *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica*, *Ophioactys savignyi*, y el coral *Carijoa riisei* y un protocolo de detección temprana y respuesta rápida ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y el coral *Carijoa riisei* en México.

Objetivo: Fortalecer el conocimiento acerca del potencial invasor de las especies objeto de este estudio para apoyar la toma de decisiones respecto a la implementación de las acciones preventivas, control y manejo.

Autor: Cristian Moisés Galván Villa.

Modo de citar: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2018. Servicios de consultoría para la elaboración de análisis de riesgo de los equinodermos *Asterias amurensis*, *Acanthaster planci*, *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica*, *Ophiactis savignyi*, y el coral *Carijoa riisei* y un protocolo de detección temprana y respuesta rápida ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y el coral *Carijoa riisei* en México. Proyecto 00089333 “FSP - Fort. capacidades manejo de Especies Exóticas Invasoras 083999”. 130 pp. + 7 Anexos. Galván-Villa, C.M. Laboratorio de Ecosistema Marinos y Acuicultura, Departamento de Ecología, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

Área objeto del informe: Bahía de Manzanillo, Colima, Pacífico mexicano.

Fecha de inicio: 20 de septiembre de 2018

Fecha de terminación: 30 de agosto de 2019

Este proyecto se enmarca en las acciones estratégicas transversales de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras de México en su acción estratégica transversal número 5.- Generar conocimiento para la toma de decisiones informadas. Asimismo cumple con los objetivos estratégicos 1) Prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras, al realizarse el análisis de riesgo de seis especies de invertebrados marinos (equinodermos y corales) que potencialmente pueden poner en riesgo la salud de los ecosistemas marinos de nuestro país; 2) Establecer programas de control y erradicación de poblaciones de especies invasoras que minimicen o eliminen sus impactos negativos y favorezcan la restauración y conservación de los ecosistemas, con la elaboración de protocolos de detección temprana y respuesta rápida (DTRR) para tres especies (*Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei*) con

potencial de invasión en la costa Pacífica de México; y 3) Informar oportuna y eficazmente a la sociedad para que asuma responsablemente las acciones a su alcance en la prevención, control y erradicación de las especies invasoras, mediante la elaboración de materiales de difusión (e.g. carteles) y talleres informativos que den a conocer a personas de la localidad de Manzanillo, Colima, las especies invasoras que se han detectado y las formas de como participar en el control y mitigación de las mismas.

Resumen: Las especies marinas invasoras han tenido enormes repercusiones en la biodiversidad, los ecosistemas, la pesca y la maricultura (la cría y cultivo de organismos marinos para el consumo humano), la salud humana, el desarrollo industrial y la infraestructura. Las especies exóticas pueden ser transportadas de muchas maneras: en el agua de lastre de los buques o adheridas a los cascos, adhiriéndose a equipos de buceo o empaques, por medio de organismos vivos comercializados como cebo vivo o alimentos y como agentes patógenos transportados por otros organismos, etc. De entre todos estos la dispersión por embarcaciones es considerada la de mayor relevancia para las especies acuáticas. Los barcos o buques proporcionan el medio de transporte perfecto para muchas especies, tanto marinas como terrestres. Se estima que 7,000 especies son transportadas cada día por todo el mundo en el agua de lastre y 10 mil millones de toneladas de agua de lastre se transfieren cada año a nivel mundial. En el siglo XIX, el transporte marítimo trasatlántico aumentó dramáticamente y muchas especies fueron transportadas entre Europa y la costa Este de América del Norte. Estas especies exóticas introducidas han provocado considerables impactos ambientales, económicos, a la salud y bienestar de las personas.

En este documento se incluyen fichas descriptivas de cuatro estrellas de mar (clase Asteroidea), una ofiura (clase Ofiuroidea) y un octocoral (subclase Octocorallia), con el objetivo de recabar e integrar toda la información disponible sobre las mismas. Tres de estas especies (*Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei*) son consideradas nuevos organismos exóticos invasores para México, debido a que recientemente se han observado algunos ejemplares dentro de la bahía de Manzanillo, Colima. Con el objetivo de integrar la información disponible de estas especies, se hizo una búsqueda y consulta de todas las publicaciones disponibles. Además, para realizar los análisis de riesgo se utilizó la herramienta Kit de Selección de Invasión de Especies Acuáticas (AS-ISK) v2, la cual se basa en preguntas dirigidas a grupos de organismos específicos, con el objetivo de establecer lineamientos generales como el estado del conocimiento de las especies, rutas de introducción, establecimiento, posibles impactos y sus procesos. Esta compilación de información servirá de línea base para generar o diseñar estrategias de manejo ante el posible riesgo de invasión por especies marinas en la costa del Pacífico de México.

Índice de contenido

| | |
|---|----|
| 1.1. Introducción..... | 11 |
| 1.2. Referencias | 13 |
| 2.1. Análisis de riesgo de la Estrella de Mar del Pacífico Norte <i>Asterias amurensis</i> (Echinodermata: Asteroiidae) | 16 |
| 2.2. Introducción..... | 17 |
| a. Taxonomía/especies..... | 17 |
| b. Descripción | 18 |
| c. Biología e historia natural | 18 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 20 |
| e. Estatus..... | 20 |
| 2.3. Rutas de introducción | 22 |
| En el Mundo..... | 22 |
| En México..... | 22 |
| 2.4. Potencial de establecimiento y colonización | 22 |
| a. Potencial de colonización | 22 |
| b. Potencial de dispersión | 23 |
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión | 23 |
| d. Historia de introducción en México | 23 |
| 2.5. Evidencias de impactos | 23 |
| i. Impactos a la salud..... | 23 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 23 |
| iii. Impactos a actividades productivas..... | 24 |
| iv. Impactos económicos | 24 |
| v. Otros impactos..... | 25 |
| 2.6. Control y mitigación | 25 |
| 2.7. Normatividad..... | 26 |
| 2.8. Resultados del Análisis de riesgo | 26 |
| 2.9. Resumen y conclusiones | 28 |
| 2.10. Referencias | 29 |
| 3.1. Análisis de riesgo de la estrella de mar Corona de Espinas <i>Acanthaster planci</i> (Echinodermata: Acanthasteridae)..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2. Introducción | 35 |
| a. Taxonomía/especies | 35 |
| b. Descripción | 35 |
| c. Biología e historia natural | 36 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 38 |
| e. Estatus | 39 |
| 3.3. Rutas de introducción | 39 |
| En el Mundo | 39 |
| En México | 40 |
| 3.4. Potencial de establecimiento y colonización | 40 |
| a. Potencial de colonización | 40 |
| b. Potencial de dispersión | 41 |
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión | 41 |
| d. Historia de introducción en México | 42 |
| 3.5. Evidencias de impactos | 44 |
| i. Impactos a la salud | 44 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 44 |
| iii. Impactos a actividades productivas | 46 |
| iv. Impactos económicos | 47 |
| v. Otros impactos | 48 |
| 3.6. Control y mitigación | 48 |
| 3.7. Normatividad | 52 |
| 3.8. Resultados del Análisis de riesgo | 52 |
| 3.9. Resumen y conclusiones | 53 |
| 3.10. Referencias | 54 |
| 4.1. Análisis de riesgo de la Estrella de Mar de Peine <i>Astropecten polyacanthus</i> (Echinodermata: Astropectinidae) | 63 |
| 4.2. Introducción | 64 |
| a. Taxonomía/especies | 64 |
| b. Descripción | 64 |
| c. Biología e historia natural | 65 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 65 |
| e. Estatus | 65 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Rutas de introducción | 67 |
| En el Mundo | 67 |
| En México | 67 |
| 4.4. Potencial de establecimiento y colonización | 67 |
| a. Potencial de colonización | 67 |
| b. Potencial de dispersión | 67 |
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión | 68 |
| Factores físicos | 68 |
| Factores biológicos | 68 |
| Factores humanos | 68 |
| d. Historia de introducción en México | 68 |
| 4.5. Evidencias de impactos | 69 |
| i. Impactos a la salud | 69 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 70 |
| iii. Impactos a actividades productivas | 70 |
| iv. Impactos económicos | 70 |
| v. Otros impactos | 70 |
| 4.6. Control y mitigación | 70 |
| 4.7. Normatividad | 70 |
| 4.8. Resultados del Análisis de riesgo | 71 |
| 4.9. Resumen y conclusiones | 73 |
| 4.10. Referencias | 73 |
| 5.1. Análisis de riesgo de la estrella de mar Magnífica <i>Luidia magnifica</i> (Echinodermata: Luidiidae) | 77 |
| 5.2. Introducción | 78 |
| a. Taxonomía/especies | 78 |
| b. Descripción | 78 |
| c. Biología e historia natural | 78 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 79 |
| e. Estatus | 79 |
| 5.3. Rutas de introducción | 80 |
| En el Mundo | 80 |
| En México | 81 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4. Potencial de establecimiento y colonización | 81 |
| a. Potencial de colonización | 81 |
| b. Potencial de dispersión | 81 |
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión | 81 |
| Factores físicos..... | 81 |
| Factores biológicos | 81 |
| Factores humanos | 82 |
| d. Historia de introducción en México | 82 |
| 5.5. Evidencias de impactos | 82 |
| i. Impactos a la salud | 82 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 82 |
| iii. Impactos a actividades productivas | 83 |
| iv. Impactos económicos | 83 |
| v. Otros impactos | 83 |
| 5.6. Control y mitigación | 83 |
| 5.7. Normatividad | 83 |
| 5.8. Resultados del Análisis de riesgo | 84 |
| 5.9. Resumen y conclusiones | 85 |
| 5.10. Referencias | 85 |
| 6.1. Análisis de riesgo de la Estrella Quebradiza <i>Ophiactis savignyi</i> (Echinodermata: Ophiactidae) | 88 |
| 6.2. Introducción | 89 |
| a. Taxonomía/especies | 89 |
| b. Descripción | 90 |
| c. Biología e historia natural | 90 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 91 |
| e. Estatus | 91 |
| 6.3. Rutas de introducción | 93 |
| En el Mundo | 93 |
| En México | 94 |
| 6.4. Potencial de establecimiento y colonización | 94 |
| a. Potencial de colonización | 94 |
| b. Potencial de dispersión | 94 |

| | |
|--|------------|
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión | 94 |
| Factores físicos..... | 94 |
| Factores biológicos | 94 |
| Factores humanos | 95 |
| d. Historia de introducción en México | 95 |
| 6.5. Evidencias de impactos | 96 |
| i. Impactos a la salud..... | 96 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 96 |
| iii. Impactos a actividades productivas..... | 96 |
| iv. Impactos económicos | 96 |
| v. Otros impactos..... | 96 |
| 6.6. Control y mitigación | 96 |
| 6.7. Normatividad..... | 96 |
| 6.8. Resultados del Análisis de riesgo | 97 |
| 6.9. Resumen y conclusiones | 98 |
| 6.10. Referencias | 99 |
| 7.1. Análisis de riesgo del coral Copo de Nieve <i>Carijoa riisei</i> (Cnidaria: Clavulariidae) | 104 |
| 7.2. Introducción..... | 105 |
| a. Taxonomía/especies..... | 105 |
| b. Descripción | 105 |
| d. Comportamiento colonial/conducta | 107 |
| e. Estatus..... | 108 |
| 7.3. Rutas de introducción | 109 |
| En el Mundo..... | 109 |
| En México..... | 110 |
| 7.4. Potencial de establecimiento y colonización | 111 |
| a. Potencial de colonización | 111 |
| b. Potencial de dispersión | 111 |
| c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión..... | 111 |
| Factores físicos..... | 111 |
| Factores biológicos | 111 |
| Factores humanos | 112 |
| d. Historia de introducción en México | 112 |

| | |
|--|------------|
| Golfo de México | 112 |
| Océano Pacífico | 112 |
| 7.5. Evidencias de impactos | 113 |
| i. Impactos a la salud | 113 |
| ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad | 113 |
| iii. Impactos a actividades productivas | 114 |
| iv. Impactos económicos | 114 |
| v. Otros impactos | 114 |
| 7.6. Control y mitigación | 114 |
| 7.7. Normatividad | 115 |
| 7.8. Resultados del Análisis de riesgo | 116 |
| 7.9. Resumen y conclusiones | 117 |
| 7.10. Referencias | 118 |
| 8. Anexos | 124 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Estrella de mar del Pacífico Norte <i>Asterias amurensis</i> . Fotografía: Wikimedia Commons. | 16 |
| Figura 2. Ciclo de vida y desarrollo de la estrella de mar Japonesa <i>Asterias amurensis</i> . Fuente: modificado de Shah (2018)..... | 19 |
| Figura 3. Distribución mundial de <i>Asterias amurensis</i> . Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 21 |
| Figura 4. Ocurrencias de <i>Asterias amurensis</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018). | 21 |
| Figura 5. Estrella de mar Corona de Espinas <i>Acanthaster planci</i> . Fuente: Banco de imágenes de CONABIO. Fotografía: Teófilo Muñoz. | 34 |
| Figura 6. Ciclo de vida de la estrella de mar Corona de Espinas <i>Acanthaster planci</i> . Fuente: modificado de Moran (1988). | 37 |
| Figura 7. Distribución mundial de <i>Acanthaster planci</i> . Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 39 |
| Figura 8. Ocurrencias de <i>Acanthaster planci</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018). | 40 |
| Figura 9. Distribución de <i>Acanthaster planci</i> en México. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 44 |
| Figura 10. Estrella de mar de peine <i>Astropecten polyacanthus</i> . Fotografía: Cristian Galván..... | 63 |
| Figura 11. Distribución mundial de <i>Astropecten polyacanthus</i> . Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 66 |
| Figura 12. Ocurrencias de <i>Astropecten polyacanthus</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018). | 67 |
| Figura 13. Distribución de <i>Astropecten polyacanthus</i> en México. Fuente: Ivonne García Quezada. | 69 |
| Figura 14. Estrella de Mar Magnífica <i>Luidia magnifica</i> . Fotografía: Cristian Galván..... | 77 |
| Figura 15. Distribución mundial de <i>Luidia magnifica</i> . Puntos verdes: nativa; puntos rojos: invasora. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada..... | 80 |
| Figura 16. Ocurrencias de <i>Luidia magnifica</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018)..... | 80 |
| Figura 17. Distribución de <i>Luidia magnifica</i> en México. Fuente: Ivonne García Quezada. | 82 |
| Figura 18. Estrella quebradiza <i>Ophiactis savignyi</i> . Fotografía: Cristian Galván..... | 88 |
| Figura 19. Distribución mundial de <i>Ophiactis savignyi</i> . Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución invasora; puntos amarillos: criptogénica. Información obtenida de Fofonoff <i>et al.</i> (2018) y GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 92 |
| Figura 20. Ocurrencias de <i>Ophiactis savignyi</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018). | 93 |
| Figura 21. Distribución de <i>Ophiactis savignyi</i> en México. Puntos rojos: distribución invasora; puntos amarillos: distribución criptogénica. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 95 |
| Figura 22. Coral copo de nieve <i>Carijoa riisei</i> . Fotografía: Cristian Galván..... | 104 |
| Figura 23. Distribución mundial de <i>Carijoa riisei</i> . Puntos verdes: nativa; puntos rojos: invasora. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada. | 108 |
| Figura 24. Ocurrencias de <i>Carijoa riisei</i> por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018). | 109 |
| Figura 25. Registros confirmados de <i>Carijoa riisei</i> en México. Puntos rojos: distribución invasora. Información obtenida de Zarco-Perelló <i>et al.</i> (2013); Galván-Villa & Ríos-Jara (2018) y GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada..... | 113 |

1.1. Introducción

En los últimos 200 años se ha observado que el número de especies exóticas establecidas en nuevas áreas se ha incrementado continuamente a nivel mundial (Hanno *et al.*, 2017). Las actividades humanas son unas de las principales causas que han facilitado la dispersión de muchas especies fuera de sus áreas de distribución original. Esto conlleva a una serie de problemáticas ecológicas, económicas, sociales e incluso culturales a diferentes escalas (i.e. local, regional y mundial) que requieren el desarrollo de medidas de control y manejo de estas especies (Arthur, 2008; Emerton & Howard, 2008).

Una de las herramientas más utilizadas para evaluar la introducción de una especie son los Análisis de Riesgo (AR) (Barrios *et al.*, 2014). Los AR son métodos de análisis que permiten incorporar información sobre los factores que determinan la probabilidad de introducción, establecimiento, dispersión y la severidad de dichas invasiones (Golubov *et al.*, 2014). El desarrollo de un AR tiene un papel muy importante en la reducción de la probabilidad de que nuevas especies no nativas e invasoras se establezcan en un nuevo territorio. Implican la identificación de las especies exóticas con potencial invasor, evaluando la probabilidad de que se vuelvan invasoras y las consecuencias que de ello se derivarían (Capdevila-Argüelles *et al.*, 2006).

Los AR pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Los primeros suelen basarse en la opinión de expertos. Estas opiniones pueden ser cuantificadas al asignarles una puntuación o se puede usar una escala con calificaciones de riesgo bajo, medio o alto. Los AR cuantitativos, que también son descritos como AR probabilísticos, intentan calcular la probabilidad de que un suceso tenga lugar y el coste en términos económicos o medioambientales del impacto resultante. No obstante, la evaluación de estos riesgos contiene numerosas incertidumbres, por lo que el riesgo puede ser muy difícil de cuantificar (Capdevila-Argüelles *et al.*, 2006).

Las herramientas de detección se utilizan cada vez más para identificar de manera más efectiva especies no nativas que presentan un riesgo elevado de ser invasivas. De entre las muchas herramientas para la toma de decisiones que se encuentran disponibles, el Kit de Selección de Invasión de Peces (FISK) es uno de los que se ha utilizado ampliamente, pero recientemente se ha reemplazado por una herramienta de selección genérica, el Kit de Selección de Invasión de Especies Acuáticas (AS-ISK), que es aplicable a cualquier especie y cumple con los requisitos mínimos para herramientas de riesgo según el nuevo reglamento de la Comisión Europea sobre especies exóticas invasoras (Tarkan *et al.*, 2017). Esta herramienta aplica a prácticamente todas las zonas climáticas y todas las plantas y animales acuáticos, independientemente del ecosistema (marino, agua dulce o salobre), comprende 49 preguntas básicas sobre los rasgos biogeográficos e históricos del taxón y sus interacciones biológicas y ecológicas. AS-ISK incluye un preámbulo de información de antecedentes sobre la especie, así como preguntas sobre sus posibles impactos socioeconómicos y aquellos sobre el ecosistema, servicios, y una sección adicional (seis preguntas) para que el asesor prediga cómo es probable que los cambios en el clima

influyen en los riesgos de introducción, establecimiento, dispersión e impacto de una especie (Copp *et al.*, 2016; Tarkan *et al.*, 2016, 2017).

A nivel mundial el número de especies invasoras de ciertos grupos como plantas vasculares, mamíferos, insectos, aves y peces se han incrementado considerablemente en los últimos años (Hewitt & Campbell, 2010; Hanno *et al.*, 2017). Su alta riqueza de especies, las características biológicas propias de las especies (*e.g.* forma de reproducción, historias de vida, interacciones, movilidad, etc.), así como los usos por el ser humano como fuentes de alimento, de productos básicos (*i.e.* madera, algodón, seda, etc.) o mascotas pueden ser las causas que han favorecido la dispersión de estas especies. Sin duda las actividades humanas son las que en mayor medida han contribuido a elevar el número de especies consideradas invasoras. Al mismo tiempo se ha presentado un aumento significativo de introducciones accidentales de especies de otros grupos menores, algunos de ellos con poca o nula importancia para el ser humano, pero sin embargo de gran relevancia en la estabilidad de los ecosistemas naturales (Campbell & Hewitt, 2008; Hulme *et al.*, 2008).

Los equinodermos son un grupo de invertebrados marinos bien conocidos por las especies de estrellas de mar (clase Asteroidea) y en menor medida por los erizos de mar (Echinoidea), ofiuros (Ophiuroidea), pepinos de mar (Holothuroidea) y lirios de mar (Crinoidea). Algunas especies tienen una importancia comercial (principalmente como alimento) y otras como especies ornamentales (Micael *et al.*, 2009). A pesar de que se tienen registradas cerca de 7,000 especies en todo el mundo (Pawson, 2007), solo se han registrado cinco especies de equinodermos como agentes invasores (Tabla 1.1). Dos de estas especies: *Acanthaster planci* y *Ophiotela mirabilis*, son nativas del Pacífico mexicano, ambas han llegado a otras regiones y en el caso de *A. planci* ha causado un grave problema ecológico en los arrecifes coralinos de Australia (Babcock *et al.*, 2016).

Tabla 1.1. Especies de equinodermos registradas como invasoras en el mundo.

| Especie | Distribución como especie nativa | Distribución como especie invasora | Referencias |
|----------------------------|----------------------------------|---|--|
| <i>Acanthaster planci</i> | Pacífico Oriental Tropical | Océano Índico Occidental Pacífico Central Occidental | ISSG, 2011 |
| <i>Asterias amurensis</i> | Pacífico Noroeste | Pacífico Central Occidental | ISSG, 2011 |
| <i>Ophiactis savignyi</i> | Indo-Pacífico | Océano Atlántico Mar Mediterráneo | Fofonoff <i>et al.</i> , 2018 |
| <i>Ophiotela mirabilis</i> | Pacífico Oriental Tropical | Atlántico Central Occidental | Hendler <i>et al.</i> , 2012 Moura <i>et al.</i> , 2016 Thé-de Araújo <i>et al.</i> , 2018 |
| <i>Tetrapygus niger</i> | Pacífico Sureste | Sudáfrica | Haupt <i>et al.</i> , 2010 |

Aunque el número de especies de equinodermos invasores es insignificante comparado con otros grupos marinos, los efectos devastadores por su introducción pueden ser tan graves como cualquier otra especie invasora. La ubicación de una especie invasora en una etapa temprana puede resultar ser muy difícil y en muchos de los casos se identifica cuando ya es un problema serio con una abundancia alta de individuos o que ya se encuentran distribuidos en un área de gran tamaño (Koonjul *et al.*, 2003; Ross *et al.*, 2003). Por lo tanto, es de gran importancia trabajar en los análisis de riesgo para estas especies con el objetivo de evitar el impacto ambiental y en muchos casos un impacto económico.

1.2. Referencias

- Arthur, J. R.** 2008. General principles of the risk analysis process and its application to aquaculture. En: Bondad-Reantaso, M. G., Arthur, J. R. & Subasinghe, R. P. (Eds). *Understanding and applying risk analysis in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper 519. Roma, FAO, pp. 3-8.
- Babcock, R. C., Dambacher, J. M., Morello, E. B., Plagáyin, E. E., Hayes, K. R., Sweatman, H. P. A. & Pratchett, M. S.** 2016. Assessing Different Causes of Crown-of-Thorns Starfish Outbreaks and Appropriate Responses for Management on the Great Barrier Reef. *PLoS ONE* 11(12): e0169048.
- Barrios, Y., Born-Schmidt, G., González, A. I., Koleff, P. & Mendoza, R.** 2014. Análisis de riesgo, herramienta para prevenir invasiones biológicas. En: Mendoza, R. & Koleff, P. (Coords). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 77-84.
- Campbell, M. L. & Hewitt, C. L.** 2008. Palau Introduced Marine Species Port Survey Training & Preliminary Findings. A training workshop of the Marine Biosecurity Education Consortium. National Centre for Marine Conservation and Resource Sustainability Technical Report (Feb. 2008), Launceston, 59 pp.
- Capdevila-Argüelles, L., Iglesias-García, A., Orueta, J. F. & Zilleti, B.** 2006. Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo. Ministerio de Medio Ambiente. España. 287 pp.
- Copp, G. H., Vilizzi, L., Tidbury, H., Stebbing, P. D., Tarkan, A. S., Miossee, L. & Gouletquer, P.** 2016. Development of a generic decision-support tool for identifying potentially invasive aquatic taxa: AS-ISK. *Management of Biological Invasions* 7(4): 343-350.
- Emerton, L., & Howard, G.** 2008. A toolkit for the economic analysis of invasive species. Global Invasive Species Programme, Nairobi.
- Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T.** 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 6/Feb/2019.

- Golubov J., Mandujano, M. C., Guerrero-Eloisa, S., Mendoza, R., Koleff, P., González, A.I., Barrios, Y. & Born-Schmidt, G.** 2014. Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las especies invasoras. En: Mendoza, R. & Koleff, P. (Coords). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 123-133.
- Hanno, S., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Pagad, S. et al.** 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications* 8: 14435.
- Haupt, T. M., Griffiths, C. L., Robinson, T. B. & Tonin, A. F. G.** 2010. Oysters as vectors of marine aliens, with notes on four introduced species associated with oyster farming in South Africa. *African Journal of Zoology* 45: 52-62.
- Hendler, G., Migotto, A. E., Ventura, C. R. R. & Wilk, L.** 2012. Epizoic *Ophiothela* brittle stars have invaded the Atlantic. *Coral Reefs* 31: 1005-1005.
- Hewitt, C. & Campbell, M.** 2010. The relative contribution of vectors to the introduction and translocation of invasive marine species. Australian Department of Agriculture Fisheries and Forestry, Canberra, Australia. 56 pp.
- Hulme, P. E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W. et al.** 2008. Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45: 403-414.
- ISSG.** 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>. Consultado el 6/Feb/2019.
- Koonjul, M. S., Mangar, V. & Luchmun, J. P.** 2003. Eradication of Crown of Thorns Starfish (*Acanthaster planci*) infestation in a patch reef in the lagoon off Ile Aux Cerfs, Mauritius. AMAS. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius.
- Micael, J., Alves, M. J., Costa, A. C. & Jones, M. B.** 2009. Exploitation and conservation of echinoderms. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 47: 191-208.
- Moura, R. L., Amado-Filho, G. M., Moraes, F. C., Brasileiro, P.S., Salamon, P. S., Mahiques, M. M., Bastos, A. C. et al.** 2016. An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Sciences Advances* 2: 1-11.
- Pawson, D. L.** 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa* 1668: 749-764.
- Ross, D. J., Johnson, C. R. & Hewin, C. L.** 2003. Assessing the ecological impacts of an introduced seastar: the importance of multiple methods. *Biological Invasions* 5: 3-21.
- Tarkan, A. S., Sari, H. M., İlhan, A., Kurtul, I. & Vilizzi, L.** 2016. Risk screening of non-native and translocated freshwater fish species in a Mediterranean-type shallow lake: Lake Marmara (West Anatolia). *Zoology in the Middle East* 63: 48-57.
- Tarkan, A. S., Vilizzi, L., Top, N., Ekmekçi, F. G., Stebbing, P. D. & Copp, G. H.** 2017. Identification of potentially invasive freshwater fishes, including translocated species, in

Turkey using the Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK). *Hydrobiology* 102: 47-56.

Thé-de Araujo, J., de Oliveira-Soares, M., Matthews-Cascon, H. & Correia-Monteiro, F. A. 2018. The invasive brittle star *Ophiothela mirabilis* Verrill, 1867 (Echinodermata, Ophiuroidea) in the southwestern Atlantic: filling gaps of distribution, with comments on an octocoral host. *Latin American Journal of Aquatic Research* 46(5): 1123-1127.

2.1. Análisis de riesgo de la Estrella de Mar del Pacífico Norte *Asterias amurensis* (Echinodermata: Asteroiidae)

Asterias amurensis es una estrella de mar con una coloración muy particular (amarillo y morado) (Figura 1). Esta estrella es una especie atractiva a simple vista que parece inofensiva, pero puede llegar a tener consecuencias desastrosas cuando invade nuevos hábitats (Ross *et al.*, 2002). Es una especie nativa de la región del Pacífico Norte. Se cree que la introducción de esta especie a Tasmania (Australia) pudo haber ocurrido por la llegada de larvas transportadas en el agua de lastre o por ensuciamiento de buques provenientes de Japón. En 1995, la densidad poblacional en el estuario de Derwent, Tasmania resultó ser la más alta del mundo (1,100 individuos por m³) (De Poorter, 2009).

Este voraz depredador come cualquier cosa que encuentre a su paso que no mida más que uno de sus propios brazos (hasta 50 cm). Tiene predilección por invertebrados como cangrejos, erizos de mar, otras estrellas de mar, ascidias o puestas de huevos de peces y puede detectar y extraer cualquier presa que se encuentre enterrada en la arena. Desde su llegada a Tasmania, *A. amurensis* se ha convertido en la principal depredadora de invertebrados en el estuario de Derwent (Byrne *et al.*, 1997). Las granjas acuícolas, incluyendo sogas de mejillones, bandejas de ostras, líneas de vieiras y jaulas salmoneras, que pueden proveer presas de fácil acceso, pueden verse amenazadas por la estrella de mar japonesa, aunque es mucho menos probable si estas se encuentran suspendidas en el agua (De Poorter, 2009). Hoy en día es considerada una de las especies invasoras más desastrosa y, por lo tanto, una de las estrellas de mar más estudiadas en el mundo.



Figura 1. Estrella de mar del Pacífico Norte *Asterias amurensis*. Fotografía: Wikimedia Commons.

2.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Echinodermata Brugière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Asterozoa ND

Clase Asteroidea de Blainville, 1830

Superorden Forcipulatacea Blake, 1987

Orden Forcipulatida Perrier, 1884

Familia Asteriidae Gray, 1840

Género *Asterias* Linnaeus, 1758

Asterias amurensis Lutken, 1871

Sinonimias:

Allasterias migrata Sladen, 1879

Allasterias rathbuni var. *nortonensis* Verrill, 1909 †

Asteracanthion rubens var. *migratum* Doderlein, 1879 (referido a *A. amurensis* por A.M. Clark por la localidad de "Korean Seas")

Asterias acervispinis Djakonov, 1950

Asterias amurensis f. *acervispinis* Djakonov, 1950

Asterias amurensis f. *flabellifera* Djakonov, 1950

Asterias amurensis f. *gracilispinis* Djakonov, 1950

Asterias amurensis f. *latissima* Djakonov, 1950

Asterias flabellifera Djakonov, 1950

Asterias gracilispinis Djakonov, 1950

Asterias latissima Djakonov, 1950

Asterias pectinata Brandt, 1835 (Sinónimo de acuerdo a Fisher (1930))

Asterias rubens var. *migratum* Sladen, 1879

Parasterias albertensis Verrill, 1914 (Sinónimo de acuerdo a Fisher (1930))

Nombres comunes¹

Estrella de Mar del Pacífico Norte (español)

Estrella Japonesa (español)

Flatbottom seastar (inglés)

Japanese seastar (inglés)

Japanese starfish (inglés)

North Pacific seastar (inglés)

Purple-orange seastar (inglés)

Nordpazifischer Seestern (alemán)

¹ www.iucngisd.org. Consultado el 07 de junio de 2019.

b. Descripción

Estrella de mar con cinco brazos, todos terminan en pequeñas puntas giradas hacia arriba. Cada uno de estos brazos se une en el centro del organismo para formar un disco central. Esta especie muestra una amplia gama de colores, desde naranja hasta amarillo y, a veces, de color púrpura en su lado dorsal. Las espinas dispuestas irregularmente recorren la longitud de cada brazo. Presenta una fila de espinas en cada brazo que se juntan cerca del área de la boca, creando una apariencia de abanico. Las espinas también recubren el surco ventral de cada brazo, donde se encuentran los pies tubulares. Esta especie puede crecer hasta 50 cm de diámetro (GISD, 2019).

c. Biología e historia natural

Asterias amurensis se encuentra en un rango amplio de hábitats, desde el intermareal de costas rocosas, estuarios, arrecifes alejados de la costa hasta hábitats protegidos no consolidados como conchas, grava o sustratos lodos (Hatanaka & Kosaka, 1959; Nojima *et al.*, 1986). Además, se encuentra desde la plataforma continental hasta 220 metros de profundidad. Su distribución está influenciada por múltiples factores ambientales, de los cuales la temperatura y la salinidad son particularmente importantes (Stickle & Diehl, 1987). Prefiere ambientes ligeramente fríos de entre 7-10°C; sin embargo, se ha adaptado a aguas más cálidas en la costa australiana que promedian unos 22°C. Se ha reportado que se mantiene activa a temperaturas de 6-26°C (Yakolev, 1998). Los requerimientos de temperatura de *A. amurensis* tienen implicaciones dadas las consecuencias del calentamiento global que induce el incremento de la temperatura de los océanos. Kashenko (2003) reporta que el límite menor de salinidad de *A. amurensis* es 22‰, aunque son capaces de tolerar una gran variedad de salinidades, de 18.7 a 41 ppt. Kashenko (2003) reporta migraciones a camas de ostras en aguas someras en la bahía de Vostok durante el verano y mortalidades masivas cuando la salinidad es reducida por las lluvias monzónicas.

Asterias amurensis es un depredador oportunista dominante que se alimenta de una gran variedad de invertebrados marinos como cangrejos, erizos de mar, otras estrellas de mar, ascidias, tunicados, poliquetos y principalmente moluscos, más comúnmente bivalvos (Ino *et al.*, 1955; Hatanaka & Kosaka, 1959; Kim, 1969; Dadaev *et al.*, 1982; Fukuyama & Oliver, 1985; Nojima *et al.*, 1986; Morrice, 1995; Lockhart & Ritz, 1998; Ross *et al.*, 2002; 2003a, b; 2004). Puede desarrollar canibalismo de estrellas conoespecíficas pequeñas (Morrice, 1995). La variación en el consumo de especies como corazones de mar y gasterópodos es atribuido a la facilidad de captura y las respuestas defensivas de las presas (Lockhart & Ritz, 1998).

Se reproduce tanto sexual como asexualmente (Figura 2). Los sexos están separados y la fecundación es externa y tiene lugar durante el invierno (Byrne *et al.*, 1997). Las estrellas de mar masculinas y femeninas liberan sus respectivos gametos en el medio ambiente acuático. Los gametos se unen para formar un óvulo fecundado, que experimenta escisión holoblástica y radial seguida de gastrulación, completando las etapas iniciales del desarrollo larvario. La larva comienza a alimentarse una vez que se forman los canales gastrovasculares, y en esta etapa se llama bipinnaria. Esta etapa posteriormente desarrolla brazos braquiales, y tres de ellos se combinan con un disco adhesivo central para formar el complejo braquiolar. Esto marca la transición de la larva al estado de braquiolaria. Una larva

braquiolariana puede permanecer en la columna de agua durante aproximadamente 120 días antes de que finalmente se asiente y sufra metamorfosis en la estrella de mar adulta (Morrice, 1995). La metamorfosis es inducida por la detección de factores inductores metamórficos por las papilas adhesivas en los brazos braquiolares, como las señales químicas de las estrellas de mar adultas en el medio ambiente. Las larvas permanecen flotando en el agua unos cuatro meses. La larva requiere de 41 días hasta alrededor de 120 días para convertirse en una estrella de mar adulta. Todo este proceso depende de la temperatura del agua en la que se está desarrollando la estrella de mar; cuanto más caliente esté el agua, más rápida será la tasa de desarrollo (Byrne *et al.*, 1997; Paik *et al.*, 2005; GISD, 2019). Las hembras pueden producir entre 10 y 25 millones de huevos cada temporada. También tienen la capacidad de regenerar los brazos perdidos (NIMPIS, 2002).

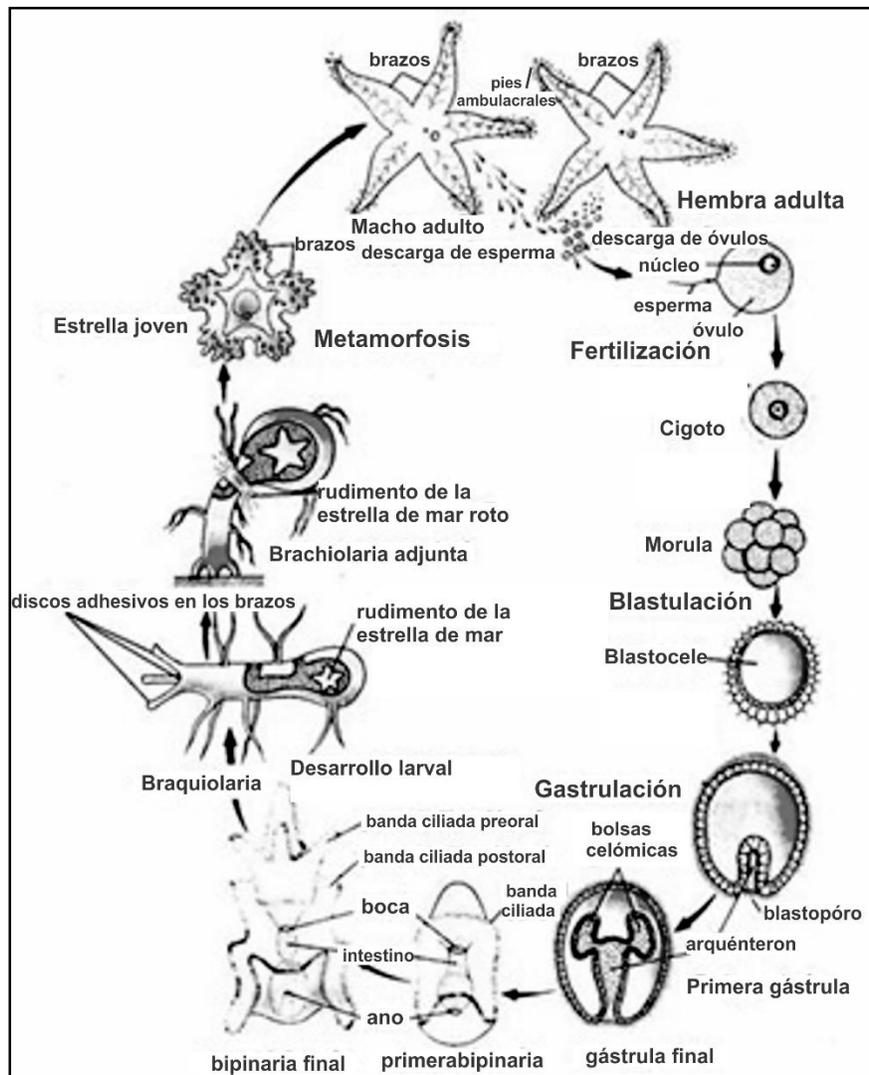


Figura 2. Ciclo de vida y desarrollo de la estrella de mar Japonesa *Asterias amurensis*. Fuente: modificado de Shah (2018).

En Japón, la estrella de sol (*Solaster paxillatus*) ha sido señalado como un depredador de *A. amurensis* (GISD, 2019). También se ha observado la depredación de *A. amurensis* por cangrejos rey en acuarios de Alaska (GISD, 2019). El tamaño de la presa consumida por *A. amurensis* generalmente es igual a la longitud del brazo de la estrella de mar. Los organismos que compiten en diferentes regiones con *A. amurensis* incluyen: *Uniophora granifera*, *Coscinasterias muricata* y *Odobenus rosmarus divergens* (morsas del Pacífico) (GISD, 2019).

d. Comportamiento colonial/conducta

Es una estrella que forma grandes agregaciones. Sus poblaciones e impactos ecológicos son regulados por una combinación de disponibilidad de alimento, migración oportunista a áreas ricas en alimento, canibalismo y emigración de lugares donde la comida comienza a agotarse, y episodios de reclutamiento (Sloan, 1980; Nichols & Barker, 1984; Nojima *et al.*, 1986; Mackenzie & Pikanowski, 1999; Witman *et al.*, 2003). El fenómeno de agregaciones periódicas altamente densas, particularmente en granjas de moluscos bivalvos, se reporta en muchos estudios previos. Estos asteroideos son bien conocidos por exhibir grandes fluctuaciones en la densidad de sus poblaciones en relación a cambios en la densidad de sus presas (Menge, 1979; Harris *et al.*, 1998; Gaymer & Himmelman, 2002; Witman *et al.*, 2003; Uthicke *et al.*, 2009).

Estas estrellas de mar muestran un comportamiento fototáctico positivo, moviéndose hacia la luz. En situaciones donde una parte del organismo está sombreada y otra parte está iluminada, se ha visto que el animal se mueve hacia el área iluminada. A medida que se mueven, los animales exhiben lo que se conoce como una "postura de avance típica". Esto significa que la estrella de mar se mueve con un rayo particular de su cuerpo en cierta dirección y el resto del organismo sigue lentamente. Las formas adultas y juveniles de estas estrellas de mar tienen una motilidad limitada. Cuando se mueven, caminan con sus pies ambulacrales. Sin embargo, las etapas larvales nadan libremente y se sabe que viajan usando corrientes de agua (Yoshida & Ohtsuki, 1968; GISD, 2019).

e. Estatus

Asterias amurensis se distribuye en el noroeste y noreste del Océano Pacífico, desde China y Rusia hasta Alaska (Byrne *et al.*, 2013) (Figura 3). Es una especie considerada una de las especies invasoras más significativas en Australia (Ross *et al.*, 2002; 2003a, b). En Tasmania se colectó por primera vez en 1986 y fue erróneamente reconocida como una variante de la estrella de mar nativa *Uniophora granifera*, y fue hasta 1992 que fue identificada ya como *A. amurensis*, cuando está ya era muy abundante (Zeidler, 1992) (Figura 4). También se ha registrado en Alaska, las islas Aleutianas, Europa y en el estado de Maine en los Estados Unidos (Byrne *et al.*, 1997; GISD, 2019).

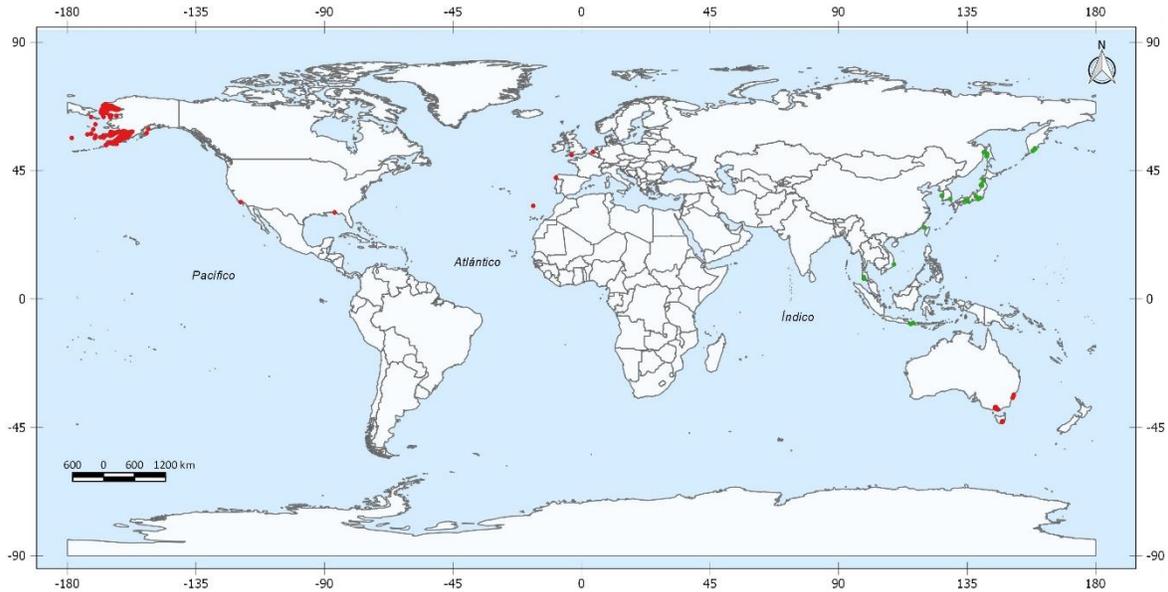


Figura 3. Distribución mundial de *Asterias amurensis*. Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

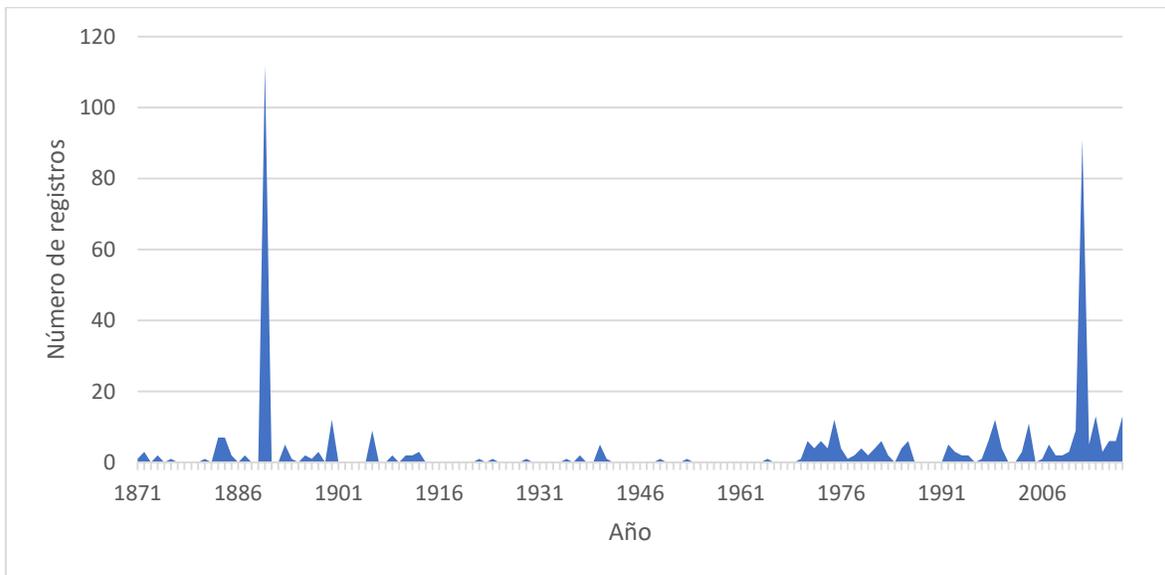


Figura 4. Ocurrencias de *Asterias amurensis* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

2.3. Rutas de introducción

En el Mundo

El principal vector de introducción de *A. amurensis* a Australia fue el transporte de larvas en el agua de lastre tomada en puertos japoneses y liberada en el muelle Hobart (Dunstan & Bax, 2007; Byrne *et al.*, 2013). Estudios genéticos indicaron el origen de las poblaciones de *A. amurensis* es la región central de Japón: Suruga y la bahía de Tokyo (Ward & Andrew, 1995). Este se convirtió en el primer caso conocido de un equinodermo introducido por esta vía. Los sucesos de colonización consecuentes muestran que las condiciones locales fueron favorables para el proceso metamórfico de larvas introducidas y para el proceso de reproducción de los colonizadores (Byrne *et al.*, 2013).

Otras rutas de introducción de *A. amurensis* son el comercio de alimentos vivos, se puede transmitir a través del agua de mar en el comercio de peces vivos o moluscos (Dartnall, 1969). Como fauna adherida a los cascos de los barcos; involuntariamente a través de embarcaciones recreativas o turísticas; o por el transporte de materiales, se asienta en palangres de vieira, sacos de semilla, líneas de mejillones y ostras y jaulas de salmón (Hayes *et al.*, 2005). *A. amurensis* se toma frecuentemente como captura fortuita en la pesca de arrastre o dragado del fondo. Es muy probable que se propague a nuevos lugares en las operaciones de pesca, dentro de dragas y redes o cuando se desecha durante la clasificación de la captura (Dommissé & Hough, 2004). Dommissé y Hough (2004) también sugieren que el movimiento de los equipos de pesca con cebo (como las trampas y las líneas) puede ser un posible vector.

Su introducción también puede darse por desastres naturales como inundaciones o tsunamis, como por ejemplo el tsunami de Tohoku en 2011, el cual provocó el acarreo de objetos y de organismos de varias especies (entre estas *Asterias amurensis*) desde la costa de Japón hasta Oregón, Estados Unidos en el Pacífico Noreste (NOAA, 2017; Murray *et al.*, 2018; Therriault *et al.*, 2018).

La distribución de *A. amurensis* a nivel local se puede dar por el transporte de larvas a través de las corrientes marinas (Dunstan & Bax, 2007).

En México

No se ha reportado su presencia en México.

2.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

Alto. La Estrella de Mar Japonesa, aunque comúnmente se encuentra en aguas templadas (7-10°C), puede adaptarse a temperaturas mayores (hasta 22°C). Así mismo puede tolerar ambientes con diferentes niveles de salinidad (18-41 ppt), colonizando zonas de estuarios, costas rocosas, fondos arenosos y lodosos. Puede encontrarse en ambientes de intermareal y hasta 220 m de profundidad (GISD, 2019). Se adhiere a estructuras artificiales como redes de pesca, líneas para cultivo de moluscos, jaulas utilizadas para maricultivos (Dommissé &

Hough, 2004; Hayes *et al.*, 2005). Es una especie con una alta fecundidad y tiene una larva planctotrófica de larga vida (Hatanaka & Kosaka, 1959; Kasyanov, 1988).

b. Potencial de dispersión

Alto. Es una especie que puede ser dispersada por medio del agua de lastre que utilizan los barcos, mediante el cual las larvas pueden ser transportadas por grandes distancias (Byrne *et al.*, 2013). Se ha reportado como fauna asociada a desechos marinos (*Marine debris*), los cuales son arrastrados por las corrientes marinas, lo cual a permitido que llegue hasta la costa occidental de Estados Unidos proveniente de Japón (NOAA, 2017). Se cree que posiblemente organismos juveniles pueden dispersarse como fauna asociada a cascos de barcos u otras superficies como hélices, sondas, quillas, etc. (Dommissé & Hough, 2004).

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Condiciones ambientales como temperatura y salinidad favorecen la metamorfosis de sus larvas (Byrne *et al.*, 1997). Es una especie que presenta una alta fecundidad y tiene una larva planctotrófica de larga vida (Hatanaka & Kosaka, 1959; Kasyanov, 1988). Actividades humanas como la pesca favorecen su dispersión (Dommissé & Hough, 2004).

d. Historia de introducción en México

No se ha reportado su presencia en México.

2.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

Si las *Asterias* se utilizan para el consumo por parte de los seres humanos u otras especies explotadas por los humanos, existe un potencial de impacto en la salud humana porque estas estrellas pueden acumular toxinas. Sin embargo, en esta etapa, el riesgo de estos efectos se considera mínimo (Asakawa *et al.*, 1997).

Se sabe que esta especie alberga la bacteria *Colwellia asteriadis*, aunque no se han descrito efectos negativos en la estrella de mar o en otros organismos o personas (Choi *et al.*, 2010).

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

La estrella de mar *Coscinasterias muricata* es una especie nativa de Australia que no está en condiciones de competir en número con *A. amurensis*, por lo que sus poblaciones naturales se han visto seriamente amenazadas por la introducción de esta especie. La depredación de *A. amurensis* en su rango nativo influye en la abundancia de una amplia gama de organismos bentónicos infaunales, incluyendo moluscos, ascidias, briozoos, esponjas, crustáceos, poliquetos, peces, incluso otros equinodermos (De Poorter, 2009).

El impacto de *Asterias* en los hábitats de sedimentos blandos en Tasmania ha sido objeto de una extensa investigación. Los resultados de las manipulaciones experimentales y las observaciones detalladas de la alimentación han demostrado un gran impacto de estas estrellas en las poblaciones de bivalvos, en particular las especies que viven en la superficie

del sedimento o que se encuentran justo debajo de ella. *Asterias amurensis* parece ser un depredador generalista con fuertes preferencias alimentarias, pero pueden cambiar fácilmente a otras especies de presas si la abundancia de presas preferidas se vuelve baja. A altas densidades, *Asterias* tiene el potencial de impactar una gran variedad de taxones, con efectos significativos y amplios en las comunidades de sedimentos blandos. Si bien *Asterias* también ocurre en arrecifes rocosos en hábitats protegidos, sus impactos en estas comunidades siguen siendo poco conocidos (Ross, 2001).

Asterias también se ha implicado como un factor que contribuye al declive del pez manchado en peligro de extinción en el estuario del río Derwent. Se han observado que se alimentan de una ascidia que se usa comúnmente como sustrato de desove (*Sycozoa* sp.); y es posible que la pérdida de la ascidia pueda afectar el ciclo reproductivo de los peces manchados reduciendo el sustrato de desove disponible. El impacto de las *Asterias* en otras especies raras de equinodermos en el río Derwent (por ejemplo, la pequeña estrella de mar de cinco brazos *Marginaster littoralis* y la holoturia *Psolidium ravum*) sigue siendo poco conocido (Bruce & Green, 1998; Gowlett-Holmes, 1999).

iii. Impactos a actividades productivas

En su área de distribución nativa, las asterias causan daños considerables a las pesquerías comerciales de mariscos (e.g. ostras, berberechos, vieiras y almejas) (Hatanaka & Kosaka, 1959; Kim, 1969; Nojima *et al.*, 1986).

iv. Impactos económicos

En Australia, los impactos económicos de las *Asterias* aún no se han examinado exhaustivamente, aunque se reconoce ampliamente que las *Asterias* causan impactos en la pesca y acuicultura de vieiras y mejillones en aguas de Tasmania. Lo que más preocupa es la influencia de *Asterias* en la producción de vieiras en Australia, que alcanza un valor de \$AUD 25 millones por año (ABARE, 2007). En 2006, 25 toneladas de *Asterias* fueron capturadas como captura fortuita por pescadores comerciales de vieiras en la costa este de Tasmania (Lister, 2007). También se han recibido informes recientes de "un número muy grande" de *Asterias* en bolsas recolectoras de ostiones de vieiras y en jaulas de "crecimiento" suspendidas en la costa este de Tasmania (McManus & Proctor, 2001), lo que resultó en una pérdida de aproximadamente \$AUD 1 millón para la industria en el año 2000 (Dommissé & Hough, 2002).

Aunque las tasas de depredación en las poblaciones de vieiras salvajes siguen siendo desconocidas, en un estudio científico que examinó la respuesta de escape de las vieiras australianas (*Pecten fumatus* y *Chlamys asperima*) se encontró que este fenómeno es causa de preocupación (Hutson *et al.*, 2005). Cuando se expusieron a los depredadores de vieiras nativos e introducidos (es decir, *Asterias*), se obtuvo una respuesta de escape casi inmediata por las vieiras en presencia de la estrella de mar nativa *Coscinasterias muricata*. Sin embargo, hubo una baja frecuencia de respuesta de escape exhibida por las vieiras tras el contacto con *Asterias*. La falta de reconocimiento de depredadores en invertebrados

marinos puede tener serias implicaciones para las poblaciones de vieiras silvestres y cultivadas en el sur de Australia, donde prevalece *A. amurensis* (Hutson *et al.*, 2005).

La presencia de *Asterias* también tiene el potencial de impactar las pesquerías de almejas y berberechos, como las que se dirigen a *Katylsia* sp. y *Venerupis* sp. en bahías protegidas en la costa Este de Tasmania, las cuales generan ganancias de hasta \$AUD 234,000 por año, según el promedio de ganancias en el periodo 2001-2005 (DPIW, 2007). La evidencia experimental ha demostrado impactos significativos de depredación de *Asterias* en algunas de estas especies de bivalvos comerciales en Tasmania, lo que resulta en reducciones significativas en la densidad de la población (Rosss *et al.*, 2002, 2004). Otras pesquerías de moluscos (por ejemplo, *Donax deltoides*) que realizan las capturas de estos invertebrados en zonas de bajo impacto por el oleaje, también pueden ser afectadas por las estrellas *Asterias*, debido a que estas últimas tienen una preferencia por hábitats protegidos.

Asterias amurensis tiene el potencial de afectar la pesca y la acuicultura silvestres de abulón en Australia (valor de \$AUD 225 millones por año) (ABARE, 2007). Sin embargo, los impactos significativos en la pesquería de abulón se consideran menos probables, dado que *Asterias* tiene una preferencia por los hábitats protegidos, mientras que el abulón es típicamente asociados con ambientes de alta energía (McShane, 1999; Dommissé & Hough, 2004).

v. Otros impactos

Ninguno.

2.6. Control y mitigación

En el puerto de Hobart en Tasmania, Australia, que ha sido altamente invadido por la estrella de mar del Pacífico Norte (*Asterias amurensis*), se han hecho intentos para controlarla usando sustancias químicas y extracción manual, pero hasta ahora esto no ha tenido mayor impacto en su población.

No se conoce un método práctico para erradicar esta especie una vez que se encuentra establecida. La eliminación manual por buceadores sólo ha tenido un éxito limitado, donde la infestación era esporádica y tenía una densidad de menos de 2 organismos por m², pero la recolección directa mediante buceo como método de control para grandes poblaciones no ha resultado ser eficaz. En mayo de 2000, buceadores de la comunidad en Hobart (Tasmania) recogieron 21,000 ejemplares, que se estimó eran sólo el 5% de la población de estrellas de mar en la zona del muelle. Tampoco ha sido eficaz la eliminación por dragado o con trampas. Igualmente, limitado ha sido el éxito de la caza con redes y la cosecha comercial (para moler y producir fertilizantes) (Goggin, 1998).

Algunas especies podrían ser usadas para el control biológico de la estrella de mar del Pacífico Norte y se está examinando la viabilidad y la seguridad de su uso. Mediante muestreos en la bahía de Port Phillip (Australia) se encontró que posiblemente la estrella *Coscinasterias muricata*, que es nativa de ese lugar, funciona como un depredador natural. Experimentos en laboratorio demostraron que *Coscinasterias* consume a *Asterias* a una tasa

de ~ 45/año. Por lo que se determinó que, si las tasas de consumo son similares en laboratorio y campo, *Coscinasterias* puede considerarse como un control natural de las poblaciones de *A. amurensis* (Parry, 2017).

En estos momentos la defensa más práctica contra la invasión de *A. amurensis* es la vigilancia continua en todos los posibles puntos de entrada y la reacción rápida si ocurre una introducción. Para maximizar la prevención de la propagación en el futuro, en toda la costa australiana se ha distribuido información sobre esta especie para educar a la comunidad y fomentar el reporte de su aparición.

2.7. Normatividad

En Nueva Zelanda, se han promulgado leyes para impedir que se vierta el agua de lastre que se haya recolectado del estuario de Derwent y la bahía Port Phillip, durante la temporada de desove de la estrella de mar. Además, la estrella de mar se ha incluido en la guía de identificación de plagas marinas de Nueva Zelanda, la cual tiene como objetivo informar sobre la presencia de estas especies a toda la población y realizar la detección de las mismas rápidamente (MPI, 2015). De la misma forma en Australia también se han implementado estrategias para evitar la expansión de *A. amurensis*, para lo cual en 2002 se elaboró el Plan Nacional para el Control de la Estrella del Pacífico Norte (*Asterias amurensis*), con el objetivo de prevenir introducciones de esta especie en el sur de Australia (Hayes *et al.*, 2005).

A nivel internacional, la Organización Marítima Internacional (OMI) estableció el Programa Global de Manejo del Agua de Lastre 2000-2004 (GloBallast por sus siglas en inglés). En este programa se considera *A. amurensis* dentro de la lista de especies invasoras acuáticas que potencialmente pueden distribuirse a través del manejo de agua de lastre, por lo que mediante este convenio se establecen directrices para el control y gestión del agua de lastre de los barcos, con el fin de reducir el riesgo de introducción de organismos acuáticos dañinos y patógenos (OMI, 2017).

2.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) obtenida con la herramienta ASK-ISK para *Asterias amurensis* en México generó un valor de 36.0, el cual es equivalente a un riesgo Alto (Tabla 2.1, Anexo 1.). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) fue de 36.0, lo que equivale a un riesgo Alto, considerando predicciones de las condiciones ambientales en las costas de México a futuro. Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron altos (0.78 para BRA+CCA, 0.76 para BRA, y 1.00 para CCA). Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

A pesar de que esta especie no se ha registrado en México, sus características biológicas le confieren una alta capacidad de expansión tanto a regiones templadas como subtropicales. Por lo tanto, es importante no subestimar la posibilidad de invasión en México por esta

especie, la cual ha causado graves impactos ambientales y económicos en otros países. Un programa de prevención parecería la mejor estrategia para prevenir su incursión.

Tabla 2.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo de la Estrella de Mar del Pacífico Norte *Asterias amurensis* con la herramienta AS-ISK.

| Estadísticas | |
|---|-------------|
| Calificación | |
| BRA | 36.0 |
| Resultado BRA | Alto |
| BRA+CCA | 36.0 |
| Resultado BRA+CCA | Alto |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 7.0 |
| 1. Domesticación/Cultivo | -2.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 0.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 9.0 |
| B. Biología/Ecología | 29.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 9.0 |
| 5. Utilización de recursos | 7.0 |
| 6. Reproducción | 2.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 7.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | 4.0 |
| C. Cambio climático | 0.0 |
| 9. Cambio climático | 0.0 |
| Preguntas respondidas | |
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 9 |
| Ambiental | 15 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 15 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |

| | |
|----------------|-------------|
| BRA+CCA | 0.78 |
| BRA | 0.76 |
| CCA | 1.00 |

2.9. Resumen y conclusiones

La estrella de mar del Pacífico norte (*Asterias amurensis*) es considerada una especie autóctona del Pacífico oeste. La especie se ha introducido en el sureste de Australia y en Tasmania, donde se han evaluado los peores daños por su introducción, sin embargo, se ha expandido su distribución a otras áreas como Alaska, las islas Aleutianas, Europa y en el estado de Maine en los Estados Unidos (Byrne *et al.*, 1997; GISD, 2019). Se piensa que la vía de introducción principal es a través del agua de lastre de los barcos, sin embargo, su dispersión también puede darse como fauna asociada a materiales flotantes (*Marine debris*) que son arrastrados por las corrientes oceánicas. Esto le ha permitido cruzar prácticamente todo el Océano Pacífico. Es un organismo capaz de tolerar un amplio rango de temperaturas y niveles de salinidad en el agua. Se le puede encontrar con frecuencia en los estuarios y zonas intermareales. El desove se produce entre julio y agosto y las hembras son capaces de transportar hasta 20 millones de huevos, que eclosionan y se convierten en larvas planctónicas durante 180 días. Por todo lo anterior, se considera que es una especie con alto potencial de dispersión y colonización.

Aunque es una especie que no se encuentra en México, el riesgo de invasión resultó ser alto, por lo que es recomendable mantener una vigilancia constante para evitar su introducción y proliferación. La difusión de información puede ser el método preventivo más eficiente que se puede utilizar en estos momentos. Se debe priorizar la alerta preventiva, principalmente en la zona norte del país, tanto para la costa del Pacífico como del Golfo de México, ya que se tiene un riesgo para ambas costas debido a reportes de esta estrella en localidades de Estados Unidos muy cercanas con los límites de las costas mexicanas. El sector con mayor riesgo de sufrir impactos negativos por la presencia de *A. amurensis* en México es el de productores acuícolas. Generar alertas generales entre productores de moluscos bivalvos como por ejemplo ostiones, ostras, almejas, abulones, etc., puede permitir, en caso de ser necesario, una detección temprana y, por lo tanto, tomar medidas inmediatas para su control. En Baja California, pesquerías como la de abulón alcanzan las casi 5,000 toneladas (período 2010-2015) (DOF, 2018), por lo que se puede tener una repercusión económica seria en caso de enfrentarse a una invasión por la Estrella de Mar Japonesa. Se requiere con urgencia un programa de monitoreo en todos los puertos del país con el objetivo de detectar la presencia de esta y otras especies invasoras que potencialmente pueden ser introducidas vía agua de lastre o como fauna adherida a los cascos de las embarcaciones u otras estructuras de los propios barcos.

2.10. Referencias

- ABARE.** 2007. *Australian Fisheries Statistics 2006*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 73 pp.
- Asakawa, M., Nishimura, F., Miyazawa, K. & Noguchi, T.** 1997. Occurrence of paralytic shellfish poison in the starfish *A. amurensis* in Kure Bay, Hiroshima Prefecture, Japan. *Toxicon* 35: 1081-1087.
- Bruce, B. D. & Green, M. A.** 1998. *The Spotted Handfish 1999-2001 Recovery Plan*. <http://www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/publications/recovery/spottedhandfish/>.
- Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B.** 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685.
- Byrne, M., O'Hara, T. D. & Lawrence, J. M.** 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). The Johns Hopkins University Press.
- Choi, E., Kwon, H., Koh, H., Kim, Y. & Yang, H.** 2010. *Colwellia asteriadis* sp. nov., a marine bacterium isolated from the starfish *Asterias amurensis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 60(8): 1952-1957.
- Dadaev, A. A., Levin, V. S. & Murahvry, A. M.** 1982. Changes in distribution of the scallop *Patinopecten yessoensis* and sea stars after introducing scallops on the bottom in the Vityaz Bay (Sea of Japan). *Marine Biology* 4: 37-43.
- Dartnall, A. J.** 1969. New Zealand sea stars in Tasmania. *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania* 103: 53-55.
- De Poorter, M.** 2009. Amenaza marina: especies exóticas invasoras en el entorno marino. UICN, 24 pp.
- DPIW.** 2007. *Shellfish Fishery Policy Document. Information Supporting the Shellfish Management Plan for the Fisheries (Shellfish) Rules 2007*. Wild Fisheries Management Branch, Department of Primary Industries and Water. Tasmania, 42 pp.
- DOF.** 2018. Actualización 2017 de la Carta Nacional Pesquera. Instituto Nacional de Pesca. 106 pp.
- Dommissie, M. & Hough, D. E.** 2002. *National Control Plan for the Introduced Marine Pest: Northern Pacific Seastar (Asterias amurensis): Implementation Workshop May 2002*. Report for the Department of Sustainability and Environment, Victoria, 16 pp.
- Dommissie, M. & Hough, D.** 2004. *Controlling the Northern Pacific Seastar (Asterias amurensis) in Australia*. Victorian Department of Sustainability and Environment (DSE), 52 pp.

Dunstan, P. K. & Bax, N. J. 2007. How far can marine species go? Influence of population biology and larval movement on future range limits. *Marine Ecology Progress Series* 344: 15-28.

Fukuyama, A. K. & Oliver, J. S. 1985. Sea star and walrus predation on bivalves in Norton Sound, Bering Sea, Alaska. *Ophelia* 24: 17-36.

Gaymer, C. F. & Himmelman, J. H. 2002. Mussel beds in deeper water provide an unusual situation for competitive interactions between the seastars *Leptasterias polaris* and *Asterias forbesi*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 277: 13-24.

GBIF. 2018. GBIF.org. 14 de Agosto de 2018. GBIF Occurrence download https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=5187508.

GISD. 2019. Global Invasive Species Database. Species profile: *Asterias amurensis*. Descargado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=82>. Consultado el 29 de enero de 2019.

Goggin, C. L. 1998. Proceedings of a meeting on the biology and management of the introduced seastar *Asterias amurensis* in Australian waters, CSIRO technical report no. 15, Centre for Research on Introduced Marine Pests, Hobart.

Gowlett-Holmes, K. 1999. *Endemic Tasmanian marine invertebrates and potential impacts from introduced marine pests*. Report for the Centre for Research on Introduced Marine Pests, Hobart.

Harris, L. G., Tyrell, M. & Chester, C. M. 1998. Changing patterns for two sea stars in the Gulf of Maine. Pp: 243-248. En: *Echinoderms: San Francisco*. Mooi, R. & Telford, M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

Hatanaka, M. & Kosaka, M. 1959. Biological studies on the population of the starfish *Asterias amurensis* in Sendai Bay. *Tohoku Journal of Agricultural Research* 9: 159-173.

Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research.

Hutson, K. S., Ross, D. J., Day, R. W. & Ahern, J. J. 2005. Australian scallops do not recognize the introduced predatory seastar *Asterias amurensis*. *Marine Ecology Progress Series* 298: 305-309.

Ino, T., Sagara, J., Hamada, S. & Tamasawa, M. 1955. On the spawning season on the starfish *Asterias amurensis* in Tokyo Bay. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 21: 32-36.

Kashenko, S. D. 2003. The reaction of the seastar *Asterias amurensis* and *Patria pectinifera* (Asteroidea) from Vostok Bay (Sea of Japan) to a salinity decrease. *Russian Journal of Marine Biology* 29: 110-114.

- Kasyanov, V. L.** 1988. Reproductive strategies of sea stars from the Sea of Japan. Pp: 205-209. En: Burke, R. D., Mladenov, P. V., Lambert, P. & Parsley, R. L. (Eds). *Echinoderm biology*. Balkema, Rotterdam.
- Kim, Y. S.** 1969. Selective feeding on several bivalve molluscs by the starfish, *Asterias amurensis* Lütken. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University* 19: 244-249.
- Lister, B.** 2007. Industry Wide - Tasmanian Scallop Fishermen's Association. En: *Fishing Today*, Diciembre 2006/Enero 2007, pp. 21-22.
- Lockhart, S. J. & Ritz, D. A.** 1998. Feeding rates of the introduced sea star, *Asterias amurensis* (Lütken), in Tasmania. Pp: 267-272. En: *Echinoderms: San Francisco*. Mooi, R. & Telford, M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- Mackenzie, C. L. Jr. & Pikanowski, R.** 1999. A decline in starfish, *Asterias forbesi*, abundance and a concurrent increase in Northern Quahog, *Mercenaria mercenaria*, abundance and landings in the Northeastern United States. *Marine Fisheries Review* 61: 66-71.
- McManus, T. & Proctor, C.** 2001. Bad news from Henderson's lagoon *Invertebrata* 20: 1-2.
- McShane, P.** 1999. Blacklip Abalone. En: *Under Southern Seas. The ecology of Australia's rocky reefs*. Andrew, N.L. (Ed). UNSW Press, pp. 72-77.
- Menge, B. A.** 1979. Coexistence between the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in a heterogeneous environment: a non-equilibrium explanation. *Oecologia* 41: 245-272.
- Morrice, M. G.** 1995. The distribution and ecology of the introduced northern Pacific seastar, *Asterias amurensis* (Lütken), in Tasmania. Final Report. Australian Nature Conservation Agency Feral Pests Program 35.
- MPI.** 2015. New Zealand Marine Pest ID Guide. Ministry for Primary Industries. 30 pp.
- Murray, C. C., Maximenko, N. & Lippiatt, S.** 2018. The influx of marine debris from the Great Japan Tsunami of 2011 to North American shorelines. *Marine Pollution Bulletin* 132: 26-32.
- Nichols, D. & Barker, M. F.** 1984. A comparative study of reproductive and nutritional periodicities in two populations of *Asterias rubens* (Echinodermata: Asteroidea) from the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 64: 471-484.
- NIMPIS.** 2002. *Asterias amurensis* (northern Pacific seastar) species summary, National Introduced Marine Pest Information System, available at daff.gov.au/marinepests/index.cfm?fa=main.spDetailsDB&sp=6000005721. Consultado el 15 de Marzo de 2016.
- NOAA.** 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program.

- Nojima, S., El-Sayed-Soliman, F., Kondo, Y., Kuwano, Y., Nasu, K. & Kitajima, C.** 1986. Some notes on the outbreak of the sea star, *Asterias amurensis* versicolor Sladen, in the Ariake Sea, western Kyushu. *Publications of the Amakusa Marine Biological Laboratory* 8: 89-112.
- OMI.** 2017. The GloBallast Story: Reflections from a Global Family. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme. GloBallast Monograph No. 25. 92 pp.
- Paik, S., Park, H., Yi, S. & Yun, S.** 2005. Developmental duration and morphology of the sea star *Asterias amurensis* in Tongyeong, Korea. *Ocean Science Journal* 40(3): 65-70.
- Parry, G. D.** 2017. Potential for biocontrol of the exotic starfish, *Asterias amurensis*, using a native starfish. *Biological Invasions* 19: 2185-2196.
- Ross, D. J.** 2001. Impact of the northern Pacific seastar *Asterias amurensis* on soft sediment assemblages, including commercial species, in southeast Tasmania. Bsc thesis, Melbourne University, 170 pp.
- Ross, D. J., Johnson, C. R. & Hewitt, C. L.** 2002. Impact of introduced asteroids *Asterias amurensis* on survivorship of juvenile commercial bivalves *Fulvia tenuicostata*. *Marine Ecology Progress Series* 241: 99-112.
- Ross, D. J., Johnson, C. R. & Hewitt, C. L.** 2003a. Assessing the ecological impacts of an introduced seastar: the importance of multiple methods. *Biological Invasions* 5: 3-21.
- Ross, D. J., Johnson, C. R. & Hewitt, C. L.** 2003b. Variability in the impact of an introduced predator (*Asterias amurensis*: Asteroidea) on soft-sediment assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 288: 257-278.
- Ross, D. J., Johnson, C. R., Hewitt, C. L. & Ruiz, G. M.** 2004. Interaction and impacts of two introduced species on a soft-sediment marine assemblage in SE Tasmania. *Marine Biology* 144: 747-756.
- Shah, R.** 2018. *Asterias* (Starfish): History, habitat and development. <http://www.biologydiscussion.com/invertebrate-zoology/starfish/asterias-starfish-history-habitat-and-development/27860>. Consultado el 17 de diciembre de 2018.
- Sloan, N. A.** 1980. Aspects of the feeding biology of asteroids. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review* 18: 57-124.
- Stickle, W. B. & Diehl, W. J.** 1987. Effects of salinity on echinoderms. Pp: 235-285. En: *Echinoderm Studies*, vol. 2. Jangoux, M. & Lawrence, J.M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- Therriault, T. W., Nelson, J. C., Carlton, J. T., Liggan, L., Otani, M., Kawai, H., Scriven, D., Ruiz, G. M. & Murray, C. C.** 2018. The invasion risk of species associated with Japanese Tsunami Marine Debris in Pacific North America and Hawaii. *Marine Pollution Bulletin* 132: 82-89.
- Uthicke, S., Schaffelke, B. & Byrne, M.** 2009. A boom and bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of large population density variations in echinoderms. *Ecological Monographs* 79: 3-24.

Ward, R. D. & Andrew, J. 1995. Population genetics of the northern Pacific seastar *Asterias amurensis* (Echinodermata: Asteroiidae): allozyme differentiation among Japanese, Russian and recently introduced Tasmanian populations. *Marine Biology* 124: 99-109.

Witman, J. D., Genovese, S. J., Bruno, J. F., McLaughlin, J. W. & Pavlin, B. I. 2003. Massive prey recruitment and the control of rocky subtidal communities on large spatial scales. *Ecological Monographs* 73: 441-462.

Yakolev, Y. M. 1998. The temperature tolerance of adult sea-star (*Asterias amurensis*) in the laboratory. P: 319. En: *Echinoderms: San Francisco*. Mooi, R. & Telford (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

Yoshida, M. & Ohtsuki, H. 1968. The phototactic behavior of the starfish, *Asterias amurensis*. *The Biological Bulletin* 134: 516-532.

Zeidler, W. 1992. Introduced starfish pose threat to scallops. *Australian Fisheries* 51: 28-29.

3.1. Análisis de riesgo de la estrella de mar Corona de Espinas *Acanthaster planci* (Echinodermata: Acanthasteridae)

La estrella de mar “Corona de Espinas” *Acanthaster planci* es bien conocida en el Indo-Pacífico por su capacidad de causar daño a gran escala sobre los arrecifes de coral (Figura 5). Por el contrario, esta especie es aparentemente inocua en el Pacífico Oriental. A pesar de que, en México, la estrella de mar *A. planci* es un habitante común en las comunidades arrecifales a lo largo del Golfo de California, los estudios enfocados a esta estrella de mar son escasos, correspondiendo la mayoría a la mención de su presencia y abundancia de manera puntual (Brusca, 1973; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999; Brusca & Hendrickx, 2010; Hernández-Morales, 2018).

La estrella *A. planci* está bien adaptada para la depredación de corales pétreos. Posee un cuerpo altamente flexible, lo que le permite alimentarse de una amplia variedad de diferentes tipos, formas y tamaños de coral. Sin embargo, prefiere colonias pequeñas, porque tienen menos protección de crustáceos que actúan como guardianes de las colonias grandes e intactas. Para alimentarse pueden envolver las colonias evertiendo su estómago y dejando libre sus podios para atacar superficies libres de nematocistos. La depredación de los corales por parte de *A. planci*, junto a los daños ocasionados por tormentas, enfermedades y aumentos de la temperatura han sido los impactos naturales más serios registrados en los arrecifes de coral. El impacto de estas estrellas de mar se considera uno de los problemas más serios de los sistemas arrecifales del Indo-Pacífico y cada día de otros lugares más (Reichelt *et al.*, 1990; Narváez & Zapata, 2009).



Figura 5. Estrella de mar Corona de Espinas *Acanthaster planci*. Fuente: Banco de imágenes de CONABIO. Fotografía: Teófilo Muñoz.

3.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Echinodermata Brugière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Asterozoa ND

Clase Asteroidea de Blainville, 1830

Superorden Valvatacea Blake, 1987

Orden Valvatida Perrier, 1884

Familia Acanthasteridae ND

Género *Acanthaster* Gervais, 1841

Acanthaster planci (Linnaeus, 1758)

Sinonimias:

Acanthaster echinites (Ellis & Solander, 1786) (Sinónimo de acuerdo a Verrill (1914))

Acanthaster echinus Gervais, 1841 (Synonym according to Fisher (1919))

Acanthaster ellisi (Gray, 1840)

Acanthaster ellisi pseudoplanci Caso, 1962

Acanthaster mauritiensis de Loriol, 1885 (Sinónimo de acuerdo a Madsen (1955))

Acanthaster pseudoplanci Caso, 1962

Asterias echinites Ellis & Solander, 1786 (Sinónimo de acuerdo a Verrill (1914))

Asterias echinus Gervais, 1841

Asterias planci Linnaeus, 1758

Echinaster ellisi Gray, 1840

Stellonia echinites L. Agassiz, 1836 (Sinónimo de acuerdo a Verrill (1914))

Nombres comunes²:

Estrella Corona de Espinas (español)

Crown-of-thorns sea star (inglés)

Crown-of-thorns starfish (inglés)

b. Descripción

Un análisis molecular reciente ha demostrado que *Acanthaster planci* es, en realidad, un complejo de especies que consta de cuatro clados distintos del Mar Rojo, el Pacífico, el norte y el sur del Océano Índico (Vogler *et al.*, 2008). Benzie (1999) había demostrado previamente la diferenciación genética entre *A. planci* del Pacífico y el Océano Índico, y esta agrupación genética se refleja en la distribución de los morfos de color: gris-verde a rojo-

² www.iucngisd.org. Consultado el 07 de junio de 2019.

marrón en el Océano Pacífico, y azul a rojo pálido en el Océano Índico. Las combinaciones de colores pueden variar desde azul purpúreo con espinas de punta roja a verde con espinas de punta amarilla (Moran, 1997). Los que están en la Gran Barrera de Coral son normalmente de color marrón o gris rojizo con espinas de punta roja, mientras que los de Tailandia son de color púrpura brillante (Moran, 1997). Los adultos *A. planci* generalmente varían en diámetro desde alrededor de 20 a 30 cm (PERSGA/GEF, 2003), aunque se han recolectado muestras de hasta 80 cm de diámetro total (Chesher, 1969; Moran, 1997).

Los organismos juveniles comienzan teniendo 5 brazos y se convierten en adultos con 16 a 20 brazos, todos fuertemente armados con espinas venenosas de 4 a 5 cm de longitud (Birk, 1979; Moran, 1997). La longitud de los brazos varía entre localidades, con un rango de 14 a 18 cm para los individuos de la Gran Barrera de Coral (Moran, 1997). Las puntas de los brazos tienen células foto-receptoras, que sólo distinguen sombras o luz. Los pies ambulacrales son táctiles, y, aparte de su función locomotora, le sirven para percibir el entorno. La boca se sitúa en el centro de su parte inferior, o aboral. El interior del cuerpo contiene el estómago, la glándula digestiva y las gónadas. El esqueleto está compuesto de pequeñas estructuras llamadas osículos, hechas de calcita de magnesio (Moran, 1988).

c. Biología e historia natural

Acanthaster planci ha sido ampliamente estudiada desde aspectos biológicos como los trabajos de Moran (1990) y Moore (1990) que mencionan tamaños de 30 a 40 cm y un cuerpo cubierto de espinas gruesas.

Los sexos están separados y las hembras liberan enormes cantidades de gametos directamente en el mar (Benzie, 1999). Una hembra de *A. planci* puede producir hasta 60 millones de huevos por año (Conand, 1985, en Babcock & Mundy, 1992). Si las condiciones son favorables y hay una supervivencia larvaria abundante, el alto potencial reproductivo de incluso unos pocos adultos puede permitir la producción de una gran cantidad de juveniles (Birkeland, 1982). La mayor parte de la población se agrega para participar en estos eventos de desove, que generalmente ocurren en la mañana o en la tarde y puede ser impulsado por feromonas liberadas en el agua (Babcock & Mundy, 1992). A menudo esta especie desova en una postura arqueada característica, usualmente sobre rocas elevadas o corales (Babcock & Mundy, 1992). La migración a aguas poco profundas se asocia comúnmente con el desove (Babcock *et al.*, 1994). Babcock & Mundy (1992) registraron un 47% de tasas de fertilización entre animales separados por 32 m de distancia y hasta un 23% para animales separados por más de 60 m. Se calcula que las tasas de fertilización alcanzadas son dos órdenes de magnitud mayores que las registradas para otros organismos marinos, debido a las grandes cantidades de gametos que producen (Babcock & Mundy, 1992).

Keesing *et al.* (1997) y Caballes *et al.* (2016) hablan de dos fases de vida de la estrella: (1) la pelágica, que consiste en una etapa larvaria de 3-4 semanas, después de esto las larvas se asientan en los arrecifes poco profundos y se convierten en pre-juveniles; y (2) la fase bentónica; entre los 16 meses y los tres años, en la cual los juveniles migran hacia la superficie de las colonias de coral dejando de ser crípticos (Moran, 1986) (Figura 6). En la

parte reproductiva, algunos trabajos como Babcock *et al.* (2016) y Dumas *et al.* (2016) señalan que estos organismos pueden llegar a liberar en promedio más de 2.5 millones de huevos en un ejemplar de aproximadamente 20 cm de diámetro y alcanzar los 60 millones de huevos en tamaños de 40 cm.

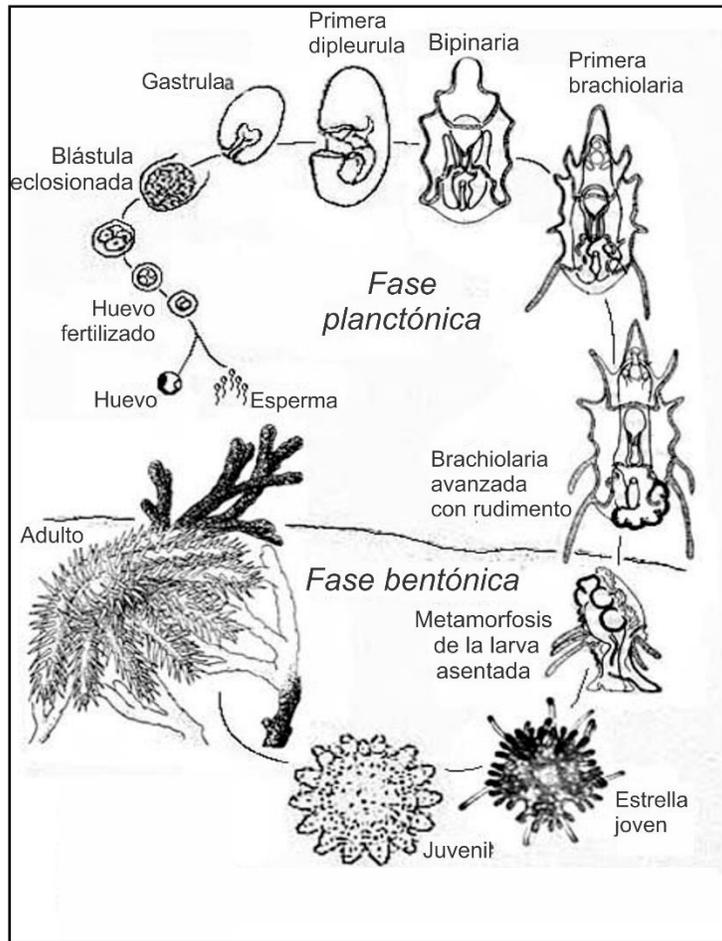


Figura 6. Ciclo de vida de la estrella de mar Corona de Espinas *Acanthaster planci*. Fuente: modificado de Moran (1988).

La estrella *Acanthaster planci* está limitada por la ubicación de su fuente de alimento, el coral, desde el nivel de marea de la primavera hasta un límite de profundidad de 65 m. El sustrato blando es evitado por esta especie, ya que carece de una superficie de agarre para que los pies ambulacrales se sostengan. En áreas de fuerte acción de las olas, la arena puede proporcionar una barrera al movimiento de la estrella de mar entre parches de arrecife (Chesher, 1969). Prefiere vivir en áreas más protegidas, como lagunas, y en aguas más profundas a lo largo de los frentes de los arrecifes (Moran, 1997). En general, evitan las aguas poco profundas en la parte superior de los arrecifes, donde las condiciones del agua probablemente sean más turbulentas. Cuando las condiciones ambientales son favorables,

el rango de distribución de la estrella de mar aumenta y esta puede desplazarse a través de zonas de arena y alimentarse en áreas de aguas poco profundas (Chesher, 1969; Moran, 1997).

Las larvas se alimentan de fitoplancton (Birkeland, 1982) y materia orgánica disuelta (Hoegh-Guldberg, 1994). Una vez que se han convertido en estrellas de mar juveniles, se alimentan de algas incrustadas (Moran, 1997). Los adultos se alimentan principalmente de coral, de ahí uno de sus nombres (estrella de mar que se alimenta de coral), pues se alimenta de los pólipos de los corales invadiendo su estómago y secretando enzimas (Birk, 1979).

En los estudios ecológicos se describe como una especie que vive sobre los arrecifes de coral a profundidades de 2 a 40 m y de hábitos nocturnos, se alimenta de los corales sacando su estómago a través de su boca y lo extiende sobre el coral digiriendo el tejido (Brauer *et al.*, 1970). Sin embargo, en densidades extremadamente altas (outbreaks) las estrellas pueden agregarse o conglomerarse en una misma área alimentándose todo el día. Tiene una mayor preferencia por corales ramificados del género *Acropora* y *Pocillopora*, que posteriormente en presencia de un gran número de estrellas corona de espinas (>5) presentan huellas blancas debido a la pérdida de los pólipos y con tamaños proporcionales a las dimensiones de las estrellas (Cameron *et al.*, 1991; De'ath & Moran, 1998; Clark & Weitzman, 2008). Se ha analizado la cantidad de cobertura coralina que consumen estos individuos principalmente en laboratorios, registrando que una estrella de 28 cm de diámetro puede llegar a consumir 187 cm² de tejido coralino al día (Kayal *et al.*, 2012; Lane, 2012) y hasta 10 m² por año de coral (Vicente, 1999). A pesar de su obvia predilección por corales escleractinos, hay reportes en la literatura que indican que esta estrella de mar se alimenta también de otros organismos como corales blandos, esponjas, moluscos y bajo ciertas circunstancias, hasta de miembros de su propia especie; esto ocurre cuando el coral es escaso (De'ath & Moran, 1998; Brusca, 2010).

La medición de las tasas de alimentación de *A. planci* ha demostrado que las tasas de alimentación en verano son aproximadamente el doble que, en invierno, pero se reducen significativamente después de la temporada de desove en verano (Keesing & Lucas, 1992). Aunque en pruebas de laboratorio *A. planci* consume moluscos y equinodermos, los corales del orden Scleractinia son su principal presa (Chesher, 1969). En la Polinesia Francesa, *A. planci* muestra una preferencia de alimentación para todas las formas de crecimiento de *Acropora*, así como el género *Montipora* y *Pocillopora* (Faure, 1989).

d. Comportamiento colonial/conducta

Las estrellas de mar se ocultan generalmente durante las horas del día, escondiéndose en grietas (Chesher, 1969; Birkeland & Lucas, 1990). Los grupos de estrellas de mar a menudo se mueven como enormes masas de 20 a 200 individuos, que van consumiendo los corales a medida que avanzan. Los signos de la presencia de *A. planci* son muy evidentes, ya que el esqueleto de coral se queda como resultado de la alimentación de las estrellas de mar y se destaca marcadamente como parches blancos, que eventualmente se cubren de algas o esponjas (Chesher, 1969).

e. Estatus

Como especie nativa en el Pacífico Oriental Tropical la estrella Corona de Espinas habita en México (Golfo de California, Islas Revillagigedo y Nayarit), Isla Clipperton, Costa Rica (Isla del Coco e Isla del Caño), Panamá (Golfo de Chiriquí), Colombia (Isla de Malpelo e Isla Gorgona) y Ecuador (Islas Galápagos) (Caso, 1961; Glynn *et al.*, 2001; Zapata *et al.*, 2017) (Figura 7).

Como especie invasora se establecido que su rango geográfico comprende toda la región del Indo-Pacífico, desde el Mar Rojo y las costas Este de África a través de Micronesia (Sladen, 1889; Birkeland & Lucas, 1990; Souter & Lindén, 2005; De'ath *et al.*, 2012). Se ha encontrado tan al norte como en Japón (35° N) y por el sur hasta la isla Lord Howe y las islas solitarias (31° S) (Moran, 1997).

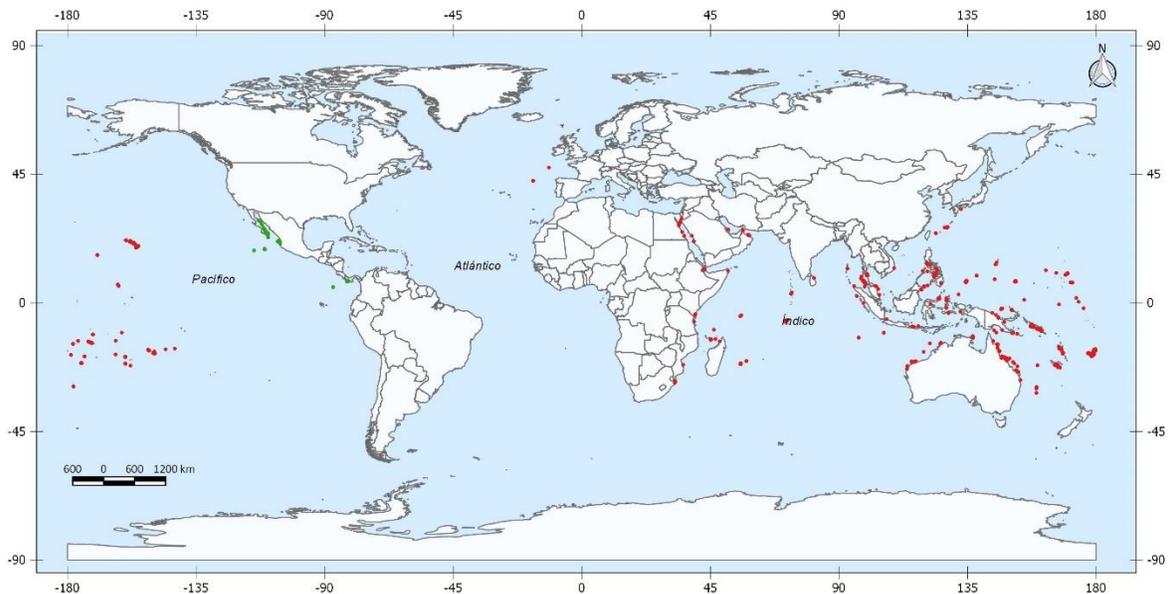


Figura 7. Distribución mundial de *Acanthaster planci*. Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

3.3. Rutas de introducción

En el Mundo

Los primeros informes de incrementos descontrolados, llamados brotes, de *A. planci* fueron en la Gran Barrera de Coral, Australia en 1957; posteriormente, se informaron brotes en Japón, Hawái, Micronesia, Polinesia Francesa, el Mar de Andamán y el Mar Rojo (Branham *et al.*, 1971; Ormond & Campbell, 1974; Yamaguchi, 1986; Moran, 1986, 1997; Colgan, 1987; Adjeroud *et al.*, 2005; Uthicke *et al.*, 2009) (Figura 8). Este fenómeno ha causado la disminución del 50% de la cubierta de coral vivo en los últimos 27 años, en particular en La Gran Barrera Arrecifal de Australia (Endean & Cameron en Quinn & Kojis, 2006; De'ath *et*

al., 2012). Se estima que entre el 42% y 50% de pérdida coralina causada por brotes de *A. planci* es consecuencia de la sobrepesca de depredadores como el caracol tritón *Charonia tritonis* (Endean, 1977; Ormond *et al.*, 1990; Uthicke *et al.*, 2009), el aumento de nutrientes en el mar por escorrentía y desechos de la agricultura (Birkeland, 1982; Uthicke *et al.*, 2009).

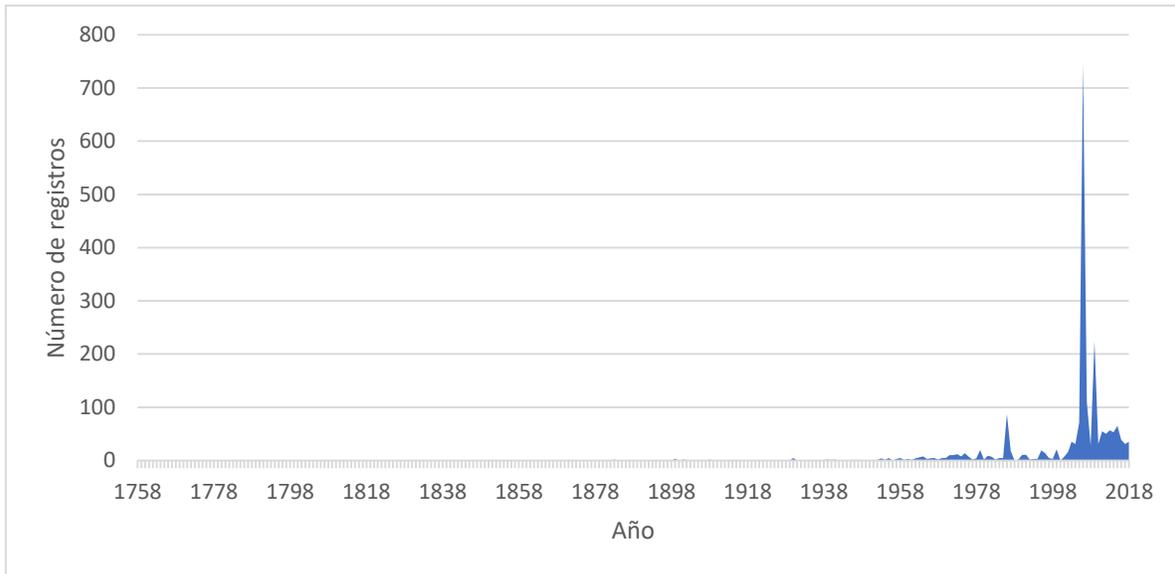


Figura 8. Ocurrencias de *Acanthaster planci* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

Se conocen dos formas de dispersión de esta especie. Por un lado, se da la dispersión natural (local), de lo cual se sabe por medio de experimentos que los ejemplares de *A. planci* pueden llegar a desplazarse hasta 250 m por semana y la acción del oleaje fuerte puede retardar la colonización de nuevos arrecifes (Chesher, 1969). Otra forma de dispersión de esta especie es mediante las corrientes marinas, donde las larvas de *A. planci* son transportadas por corrientes de agua a áreas muy lejanas (Yamaguchi, 1986 en Nakamura, 1986).

En México

Se encuentra distribuida principalmente en el Golfo de California e Islas Revillagigedo (Caso, 1961; Glynn *et al.*, 2001). No se tienen reportes de su presencia en el Golfo de México o en el Caribe Mexicano.

3.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

Alto. Los brotes de la estrella de mar Corona de Espinas *Acanthaster planci* son disturbios intensos que pueden diezmar los arrecifes de coral. Estos eventos consisten en la aparición de grandes aglomeraciones de la estrella de mar depredadora que se alimentan de los

corales formadores de arrecifes, lo que a menudo lleva a una devastación generalizada de las poblaciones de coral (Kayal *et al.*, 2012).

La estrella logra desarrollarse en arrecifes coralinos o zonas donde se encuentran comunidades coralinas bien desarrolladas (Yamaguchi, 1987). El establecimiento de poblaciones viables depende en gran medida de la capacidad de asentamiento de las larvas, las cuales son acarreadas por corrientes marinas de aguas cálidas, aunque también pueden tolerar sitios de aguas frías (Yamaguchi, 1973; McKnight, 1978; DeVantier & Deacon, 1990).

Si bien se informan las ocurrencias cíclicas de tales brotes en muchos arrecifes tropicales a lo largo del Indo-Pacífico, sus causas se debaten acaloradamente y la dinámica espacio temporal de los brotes y los impactos en las comunidades de arrecifes aún no está clara. Es probable que las causas de los brotes poblacionales sean el resultado de una combinación de varios factores, incluyendo la escorrentía terrestre, la pesca excesiva de depredadores y el aumento de las temperaturas de la superficie del mar, que se cree que promueven la supervivencia del mar antes y después del asentamiento estrellas (Fabricius *et al.*, 2010).

b. Potencial de dispersión

Estudios de conectividad han determinado que la estrella de mar Corona de Espinas presenta un potencial de dispersión muy alto. En un estudio realizado en Hawái se encontró una ausencia en la estructura genética de la población de *A. planci* a lo largo de 2500 km del archipiélago hawaiano, lo que indica que el potencial de dispersión de esta estrella marina que come corales es enorme (Timmers *et al.*, 2010). La alta dispersión generalmente se asocia con una falta de estructura genética de la población. El patrón genético encontrado está impulsado por la naturaleza dinámica y la estacionalidad de las corrientes y remolinos que se extienden a través de la cadena de islas. Las numerosas islas y arrecifes a lo largo de las islas proporcionan escalones para la expansión de la población. Es probable que las larvas liberadas en las islas principales habitadas en Hawái tengan progenie en las islas remotas del noroeste de Hawái y viceversa. Además, aunque parezca contradictorio se ha encontrado que la estructura de las poblaciones a una escala fina para una especie con un potencial de dispersión tan alto, puede presentar un intercambio limitado de propágulos en pequeñas escalas espaciales, independientemente de la densidad de la población de *A. planci*, la producción de larvas y el número de migrantes disponibles (Timmers *et al.*, 2012).

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Aunque *A. planci* por sus hábitos alimenticios es una especie restringida a zonas de arrecifes coralinos, muchos factores afectan el tamaño y la extensión de los brotes. Las causas exactas de los brotes no se han determinado con certeza y, de hecho, pueden variar según los factores locales y regionales.

Actualmente se consideran dos hipótesis principales para las causas antropogénicas de los brotes. El primero de ellos es la hipótesis de remoción de depredadores. Según esta visión,

la disminución de la mortalidad después del asentamiento mediante la eliminación de depredadores como los peces e invertebrados (como *Charonia tritonis*) permite que las estrellas de mar adultas persistan y aumenten en número en un arrecife. Por ejemplo, algunos estudios han demostrado que la depredación es un factor importante de las tasas de supervivencia de las estrellas de mar juveniles (Keesing *et al.*, 1996). En Islas Mauricio, los números altos de *A. planci* se han relacionado con números bajos de su principal depredador, el molusco *Charonia tritonis* (trompeta de Tritón). En Egipto, la extracción de peces en las familias Lethrinidae, Balistidae y Tetraodontidae se ha relacionado con los brotes de la estrella de mar corona de espinas (Ormond *et al.*, 1990 en PERSGA/GEF, 2003).

La segunda teoría antropogénica es la hipótesis del enriquecimiento de nutrientes. Esto gira en torno al aumento de la supervivencia previa al asentamiento de la larva de *A. planci*. En este escenario, la escorrentía terrestre debido a eventos extremos de lluvia o eutrofización causa el enriquecimiento con nutrientes de las aguas costeras. El aumento de nutrientes da como resultado un aumento en el fitoplancton, sobre el cual se alimentan las larvas de la estrella de mar, lo que aumenta su supervivencia en la columna de agua. Debido a que las estrellas de mar producen una gran cantidad de huevos, incluso un pequeño aumento en la supervivencia conduce a un asentamiento más grande de larvas en un arrecife, lo que a su vez conduce a un brote. Este mecanismo ha sido implicado en brotes en Micronesia y Polinesia (Birkeland, 1982).

De manera similar, los brotes frecuentes de *A. planci* en la Gran Barrera de Coral se han relacionado con un mayor suministro de nutrientes desde la tierra (Brodie *et al.*, 2005). La eutrofización promovida por los ríos es un factor importante en la desaparición de los arrecifes en la laguna interior de la Gran Barrera de Coral y los niveles registrados de crecimiento de nanoplancton en algunas regiones son suficientes para promover la supervivencia de las larvas de *A. planci*, lo que a su vez puede estar implicado con los brotes de estrellas de mar (Bell, 1992).

Harriott *et al.* (2003) discuten tres teorías actuales sobre las causas de los brotes de *A. planci*. Son: (1) Las fluctuaciones de la población son un fenómeno natural; (2) La eliminación de los depredadores naturales de las estrellas de mar ha permitido que las poblaciones se expandan; y (3) Factores humanos como el aumento de la escorrentía de nutrientes han causado un aumento en el alimento planctónico disponible para las larvas de la estrella de mar, por lo tanto, se genera un mayor número de estrellas de mar adultas.

d. Historia de introducción en México

Es una especie nativa del Pacífico Oriental Tropical, que se encuentra bien distribuida en el Golfo de California y en las islas Revillagigedo (Figura 9). Sin embargo, hay muy poca información referente a *A. planci* a lo largo de la costa oeste de México.

Desde los primeros registros de la especie en México, *A. planci* ha sido reportada con distintos nombres como: *Acanthaster ellisii*, *A. pseudoplanci* y el nombre válido *A. planci*, esto a raíz de los diversos cambios en la identidad taxonómica para los individuos en la región del Pacífico Oriental (Haszprunar & Spies, 2014).

La presencia de *A. planci* en el Pacífico Oriental Tropical ya se había registrado desde 1840 en el trabajo de Gray (1840) como *Echinaster ellisii*, mientras que en 1867 fue reportada en la Bahía de La Paz como *Acanthaster ellisii* (Verrill, 1867). En trabajos posteriores, *A. ellisii* se manejó como la especie que se encontraba en el Golfo de California (Dana & Wolfson, 1970; Barham et al., 1973). Caso (1962, 1974) describió un individuo procedente de Isla Socorro (Islas Revillagigedo) como una subespecie de *A. ellisii* a la cual denominó *A. ellisii pseudoplanci* debido a diferencias en algunas estructuras de cuerpo como las espinas, los pedicelarios y las placas bucales. Lo anterior hace evidente que la identidad taxonómica de *A. planci* en el Pacífico Oriental ha sido confusa a lo largo del tiempo y debido a esto, Lucas et al. (1985) y Nishida & Lucas (1988) por medio de alozimas detectan que la distancia genética entre las poblaciones de *A. ellisii* (Bahía La Paz) y *A. planci* (localidades del Pacífico Occidental) es poca, a diferencia de la que hay entre *A. planci* y *A. brevispinus*; concluyendo la posibilidad de que *A. ellisii* y *A. planci* sean la misma especie.

Recientemente debido a criterios genéticos y morfológicos se considera que *A. ellisii* es sinonimia de *A. planci* (Glynn, 1974; Haszprunar & Spies, 2014; Mah, 2018); sin embargo, hasta el momento no se han realizado otras aproximaciones genéticas que comprueben que las poblaciones del Indo-Pacífico y de México tengan la misma identidad taxonómica.

En el Golfo de California sus poblaciones se extienden desde Isla Rasa, en Bahía de Los Ángeles (28.8° N) hasta las islas Isabel (21° 53' N) (Ríos-Jara et al., 2008; Hermosillo-Núñez et al., 2015) y Tres Marías (21° 41' N) (Hendrickx et al., 2005) en Nayarit. En el aspecto de la densidad, los trabajos han registrado que las poblaciones de *A. planci* se han mantenido relativamente constantes desde 1970 (0.0045 ind/m²) hasta 2015 (0.037 ind/m²), con valores inferiores a un individuo por metro cuadrado a lo largo de las zonas arrecifales del Golfo de California, desde Cabo Pulmo (23°N) hasta Puerto Escondido (26°N) en Baja California Sur (Dana & Wolfson, 1970; Barham et al., 1973; Glynn, 1974; De Alba, 1978; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999; Reyes-Bonilla et al., 2005b; Herrero-Pérezrul, 2008; Holguin-Quiñones et al., 2008; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010; Murillo-Cisneros, 2012; Hermosillo-Núñez et al., 2015; Rodríguez-Villalobos et al., 2015). Las mayores densidades se han registrado en las islas de Loreto con 0.39 ind/m² en el 2007 (Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010), mientras que las menores para el área arrecifal de Cabo Pulmo (0.00019 ind/m²) en el periodo 1991-1992 (Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999).

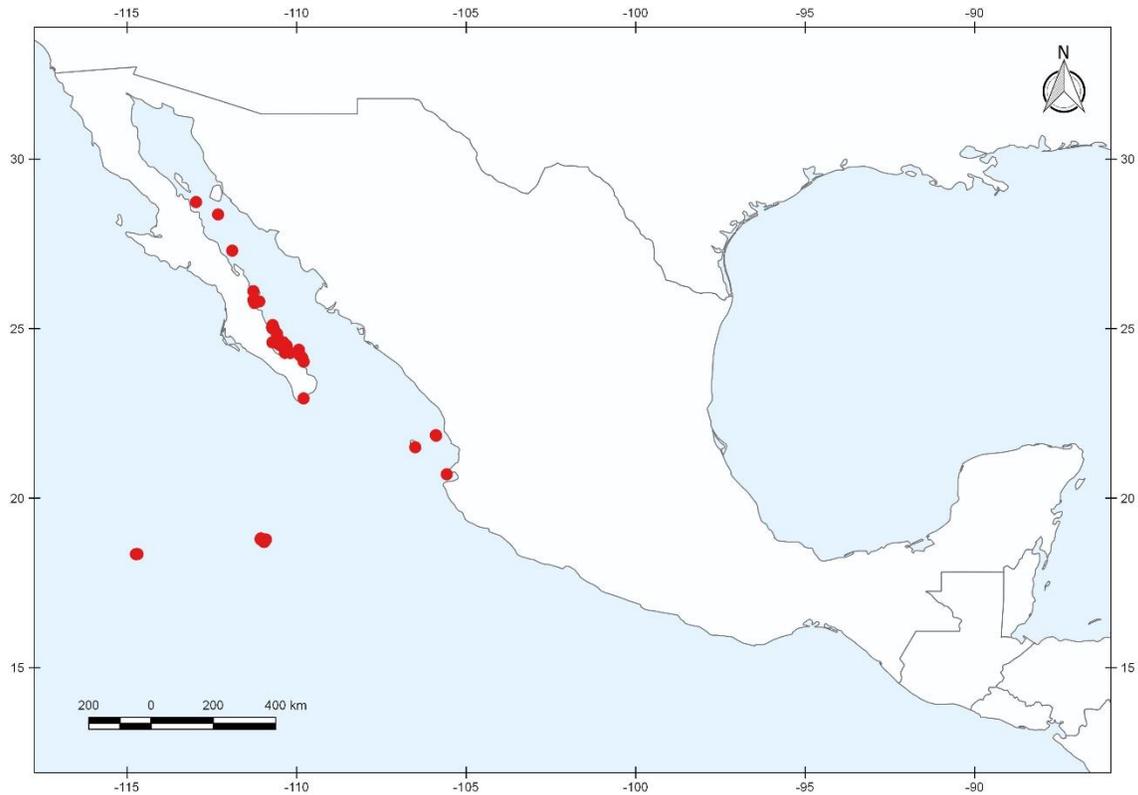


Figura 9. Distribución de *Acanthaster planci* en México. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

3.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

Acanthaster planci no es solo un peligro físico para los arrecifes de coral. La estrella de mar corona de espinas (como su nombre puede sugerir) tiene una serie de espinas penetrantes que pueden producir una herida dolorosa, así como enrojecimiento, hinchazón, vómitos, entumecimiento y parálisis en los seres humanos. En al menos un caso, *A. planci* desencadenó una respuesta inflamatoria muy desagradable en un paciente, que resultó en una inflamación local de la mano y los dedos. Incluso después de un tratamiento farmacológico eficaz, el movimiento de los dedos todavía estaba limitado seis meses después (Adler-Kaul & Jawad, 2002).

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

Desde la década de 1960, se han registrado brotes de *Acanthaster planci*, en toda la región del Indo-Pacífico. Desde el momento en que se registraron por primera vez estos brotes, se ha reconocido que representan una amenaza para la viabilidad de los hábitats de arrecifes de coral y la gran diversidad de especies que dependen de ellos. El impacto de los brotes de la estrella de mar corona de espinas en los conjuntos de corales naturales puede ser grave y duradero. En algunos arrecifes, hasta el 90% de la cobertura de coral vivo se ha perdido,

como fue el caso en áreas de Saipan (Tsuda *et al.*, 1970), las Islas Marshall y Guam (Chesher, 1969). El impacto de los brotes puede ser profundo. Por ejemplo, los corales ramificados de la isla Iriomote (Islas Ryukyu, Japón) fueron diezmados completamente por *A. planci* y reemplazados por planicies de escombros, con una diversidad de peces significativamente menor (Sano, 2000). De manera similar, los jardines de coral en el arrecife Tanguisson (Guam) fueron devastados después de un brote en la década de 1960 y la composición de las comunidades de coral cambió de las especies de presa preferidas como *Montipora* y *Acropora* a las especies de presa no preferidas como *Porites*, *Millepora* y *Leptastrea* (Colgan, 1987). Un estudio realizado por Cameron *et al.* (1991) encontró que la estructura del coral era significativamente diferente entre los sitios afectados por *A. planci* y los no afectados. Los miembros de la familia Poritidae predominaron en los arrecifes afectados por brotes, mientras que los miembros de la familia Faviidae predominaron en los arrecifes sin brotes. Además, pocas colonias grandes (antiguas) ocurrieron en los arrecifes con brote, mientras que tales corales eran comunes en arrecifes no afectados. En la Gran Barrera de Coral y en otros lugares, se encuentra una abundancia significativamente mayor de algas en forma de césped (turf) en los arrecifes afectados por la depredación de las estrellas de mar en comparación con los corales vivos (Hart & Klumpp, 1996). Afortunadamente, la invasión secundaria por grupos competitivos de organismos macrobénticos, como los corales blandos o las macroalgas, no parece ser un factor limitante cuando se trata de la recuperación del coral (Fabricius, 1996).

Los cambios en la composición del coral pueden ser de larga duración, como es el caso de las islas del Pacífico Occidental de Rota, Saipan y Tinian, donde las presas no preferidas de *A. planci*, como los corales de la familia Poritidae dominan y las presas preferidas (Acroporidae y Pocilloporidae) se mantienen en proporciones más bajas (Quinn & Kojis, 2003). Alternativamente, tales cambios pueden ser temporales. Los datos obtenidos de los arrecifes tanto en Guam como en Japón sugieren que los arrecifes de coral pueden recuperarse (en términos de riqueza de especies, densidad y ensamblajes de peces) del daño de las estrellas de mar en tan solo 10 a 20 años (Colgan, 1987; Sano, 2000). Colgan (1987) comentó que la rápida recuperación de una comunidad de coral de la perturbación natural por *A. planci* demuestra que algunos ecosistemas de arrecifes tienen una mayor capacidad de recuperación de lo que una vez se estimó. Por otro lado, existe evidencia de lo contrario que es a la vez alarmante y desalentadora. Un estudio mostró que el tiempo promedio de recuperación de los arrecifes en la Gran Barrera de Coral (Australia) se está alargando con el tiempo, y es más difícil que los arrecifes se recuperen de los brotes recientes de *A. planci* que en el pasado (Seymour & Bradbury, 1999). Se cree que esto indica que las características clave de la estructura de la comunidad de arrecifes se han dañado con el tiempo. Lourey *et al.* (2000) encontraron que para que la cobertura de coral en áreas de la Gran Barrera de Coral dañadas por *A. planci* aumentara en un 30%, requerían de entre 5 y 1000 años. Esto resalta la variabilidad de los tiempos de recuperación de la tasa entre los arrecifes y aumenta la posibilidad de que no todos los arrecifes se recuperen de los brotes de *A. planci* (Lourey *et al.*, 2000).

El efecto de depredación sobre las colonias de coral en México aún es poco conocido y solo algunos estudios se han enfocado en entender la relación de la estrella con las comunidades

coralinas del Golfo de California. Dana & Wolfson (1970) monitorearon poblaciones de *A. planci* en las Islas San Francisco, San José y Espíritu Santo y observaron el efecto que tiene sobre la pérdida de cobertura coralina, infiriendo que en un arrecife con una cobertura del 3% (18,150 m²), una cobertura coralina de 5.3 m² sería consumida por un individuo de talla promedio (~10 cm) en un año. Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera (1999) analizaron el efecto de la alimentación de individuos de *A. planci* en el Arrecife de Cabo Pulmo, encontrando que el promedio individual de consumo diario de coral es de 118.4 cm², equivalente a 4.32 m² de consumo anual. Sin embargo, reiteran que el número y la cantidad de coral consumido por esta especie es demasiado pequeño para observar una disminución en la cobertura coralina de la zona. En cuanto al tema de los brotes, hasta el momento ninguno de los estudios ha registrado o sugerido la presencia de este fenómeno en el Golfo de California o en algún lugar del Pacífico mexicano.

Por otro lado, la depredación de *A. planci* juega un papel importante en la transmisión de la enfermedad de la banda marrón en los corales formadores de arrecifes (Nugues & Bak, 2009). *Acanthaster planci* puede ser un vector de la enfermedad que transmita patógenos primarios durante la alimentación. La depredación de los corales puede facilitar la propagación de enfermedades actuando como un factor estresante (Nicolet *et al.*, 2018). Las cicatrices por la alimentación pueden proporcionar un punto de entrada para los patógenos y o aumentar la virulencia de los ciliados. La depredación de *A. planci* también reduce rápidamente el tamaño de las colonias, especialmente durante los brotes masivos. Dicha disminución de tamaño podría agotar las reservas energéticas por debajo de las cuales se compromete la resistencia a las enfermedades (Katz *et al.*, 2014).

iii. Impactos a actividades productivas

La destrucción de los arrecifes de coral vivos es un desastre económico potencial para las islas pequeñas y los atolones de todo el Océano Pacífico. La mayoría de los habitantes de la región derivan casi toda su alimentación de los recursos marinos. La destrucción de los arrecifes resultaría en la destrucción de las pesquerías, así como en el aumento de la erosión de la tierra a lo largo de la costa (Chesher, 1969). Los brotes de estrellas de mar de corona de espinas han obstaculizado la pesca tradicional en Samoa (Birkeland & Lucas, 1990) y en otros lugares, y los arrecifes de coral moribundos han puesto en peligro los medios de subsistencia.

Las posibles implicaciones de los brotes de *A. planci* son alarmantes. Sin embargo, lo que hace que el escenario sea aún más alarmante es que, a lo largo de su área de distribución, los arrecifes de coral están sometidos además a una presión creciente por los impactos humanos. Un informe reciente (Wilkinson, 2004) predice que el 24% de los arrecifes del mundo se encuentran en riesgo inminente de colapso debido a las presiones humanas; y otro 26% está bajo amenaza a largo plazo de colapso. Los impactos humanos incrementan los efectos de las perturbaciones naturales, como los brotes de *A. planci*, que contribuyen a la mortalidad de los corales y reducen la capacidad de recuperación de un arrecife. Por ejemplo, los depósitos de sedimentos a gran escala contribuyen a la degradación de los arrecifes en el Océano Índico, donde las enfermedades, la depredación y el estrés se

enumeran como los factores clave que causan la mortalidad de los corales (Ravindran *et al.*, 1999). De manera similar, se descubrió que la degradación de los arrecifes de coral en Omán se debía a causas naturales y humanas, y el daño causado por las actividades pesqueras se registró como el impacto humano más común (Al-Jufaili *et al.*, 1999).

Otros impactos humanos en los ecosistemas de coral en el área incluyen el desarrollo costero, las actividades recreativas, la contaminación por hidrocarburos y la eutrofización. La depredación de corales por *A. planci*, daños por tormentas, enfermedades del coral y estrés relacionado con la temperatura fueron los impactos naturales más comúnmente registrados en los arrecifes de coral en el país (Al-Jufaili *et al.*, 1999). En la Isla del Coco (frente a la costa pacífica de Costa Rica), los arrecifes de coral, ya dañados por el evento El Niño de 1982-83, se degradaron aún más debido a las altas densidades de la estrella de mar *A. planci*, el pez tamboril negro *Arothron meleagris* (ambas especies coralívoras) y el erizo de mar *Diadema mexicanum* (Guzmán & Cortés, 1992). Las encuestas de 1987 encontraron que en algunas áreas la cobertura de coral vivo del arrecife era tan baja (~ 3%) y los científicos creen que los arrecifes de coral de las Islas Cocos necesitarán un período de tiempo del orden de siglos para recuperar su estructura y grosor original (Guzmán & Cortes, 1992).

iv. Impactos económicos

Desde un punto de vista económico, los brotes de *A. planci* reducen el valor estético de los arrecifes de coral. Se estima que los arrecifes coralinos de Tailandia representan un valor anual de cerca de \$USD 205.41 millones (Seenprachawong, 2016). En este contexto, las operaciones de embarcaciones turísticas, las expediciones de buceo, el ecoturismo y otras atracciones turísticas basadas en entornos de arrecifes corren el riesgo de sufrir pérdidas económicas debido a los daños causados por la estrella de mar corona de espinas. Los destinos turísticos populares en la Gran Barrera de Coral han sido degradados significativamente por *A. planci*. En Grub Reef, por ejemplo, el coral vivo que quedaba después de un brote era tan deficiente que los operadores de botes turísticos tuvieron que interrumpir los viajes al sitio (Birkeland & Lucas, 1990). Tales resultados potenciales han llevado a los equipos de control en Palau a involucrar a otras partes interesadas en los esfuerzos de control, acercándose a las tiendas de buceo y operadores turísticos para "adoptar un arrecife", una estrategia de control-gestión que debe fomentarse a mayor escala.

El impacto de los brotes de *A. planci* en la Gran Barrera Arrecifal de Australia es una preocupación importante para la industria turística multimillonaria. A lo largo de varios años, hubo un brote en los arrecifes entre Cairns y Whitsundays que se estimó que costó a los operadores turísticos, y a los gobiernos de Queensland y Australia aproximadamente \$3 millones al año para medidas de control (Brodie, 2012).

v. Otros impactos

Ninguno.

3.6. Control y mitigación

Existe una importante investigación e información sobre los aspectos ecológicos y de gestión de la estrella de mar Corona de Espinas (*Acanthaster planci*) y su control. Recientemente se descubrió que *A. planci* es un complejo de especies (ver 2.2.b. Descripción) pero no está claro si este hallazgo tiene implicaciones para el manejo futuro, en términos de una posible necesidad de manejo de especies específicas (Vogler *et al.*, 2008).

Es importante determinar primero si la población de estrellas de mar se encuentra en niveles normales o si se puede considerar como un brote (outbreak). Se considera que las densidades "normales" de *A. planci* están en el rango de 1 a 15 organismos por hectárea, dependiendo de la cantidad de cobertura de coral disponible. No se recomienda que se controle la estrella de mar cuando se produce a este nivel, ya que el daño a los corales se puede mantener sin daños evidentes a largo plazo cuando la estrella de mar se presenta en densidades bajas (Lassig, 1995). La diferencia entre poblaciones "normales" y brotes debe ser obvia, lo que a menudo implica un aumento de hasta 10 veces el número de estrellas de mar. La política de la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral es que el control de *A. planci* debería limitarse a medidas a pequeña escala en áreas importantes para el turismo o la ciencia, a menos que se pueda demostrar que el brote fue causado o influenciado por la actividad humana (Lassig, 1995).

La Autoridad de Protección Marina de la Gran Barrera de Coral recomienda que los programas de control se realicen en una escala realista (hasta 2-4 ha), cuenten con fondos adecuados y se inicien lo antes posible después de que se detecte el brote. Los programas de control rara vez son operaciones únicas, ya que las estrellas de mar se mueven a menudo hacia las áreas despejadas, por lo que es necesario que exista un compromiso a largo plazo con el programa (Lassig, 1995).

Los programas de control en Micronesia y la Gran Barrera de Coral han implicado la muerte de hasta 350,000 organismos, pero en muchos casos se cree que la población de *A. planci* habría disminuido de todos modos sin un programa de control (Birkeland & Lucas, 1990). Aproximadamente, 13 millones de estrellas de mar fueron eliminadas en programas de control durante los 90's en la región del Indo-Pacífico (Moran, 1997). Estos programas de control alrededor del mundo han utilizado diferentes métodos o técnicas de eliminación como pistolas de inyección con químicos como formalina, sulfato de cobre, hidróxido de amonio, bisulfato de sodio y ácido acético, y por medio de remoción directa de los organismos con entierro de los mismos en tierra (Birkeland & Lucas, 1990; Lassig, 1995). El mayor de estos programas se llevó a cabo en las islas Ryukyu (Japón), donde se eliminaron casi 13 millones de estrellas de mar de los arrecifes de esa región mediante extracción directa de las estrellas, utilizando buceo libre en zonas poco profundas y buceo SCUBA para

zonas más profundas (Yamaguchi, 1986). A pesar de este esfuerzo japonés intensivo (que costó aproximadamente \$USD 6 millones), se consideró que el programa de control no tuvo éxito ni en la erradicación de la estrella de mar ni en la prevención de una mayor mortalidad de los corales (Yamaguchi, 1986; Johnson *et al.*, 1990; Lassing, 1995; Rivera-Posada *et al.*, 2011). Uno de los mayores obstáculos para cualquier proyecto de control para *A. planci* ha sido la demora para iniciar el control antes de que ocurra un daño significativo a los ecosistemas de coral (Birkeland & Lucas, 1990). La organización de voluntarios, las malas condiciones ambientales y la disponibilidad de fondos pueden retrasar el comienzo del control. La investigación sobre las predicciones precisas de cuándo y dónde ocurrirán los brotes de *A. planci* es esencial para mejorar el control futuro y aumentar las posibilidades de éxito (Birkeland & Lucas, 1990). Por ejemplo, un estudio de hidrodinámica encontró que, debido a la interacción de las mareas, la gravedad y los flujos de viento, algunas áreas dentro del arrecife retuvieron un mayor número de larvas que otras. La vigilancia de estos lugares, que puede estar correlacionada con el reclutamiento inicial de *A. planci*, podría proporcionar una estrategia de "alerta temprana" para monitorear y controlar futuros brotes de esta estrella de mar en los arrecifes (Black & Moran, 1991).

En general, existe una importante investigación e información sobre los aspectos ecológicos y de gestión de la estrella de la corona de espinas y su control. Por ejemplo, desde finales de 1985, el Gobierno Federal de Australia ha proporcionado alrededor de \$AUD 2.5 millones para investigación y el Instituto Australiano de Ciencias Marinas y la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral también han apoyado este esfuerzo (Moran, 1997). A partir de 1997, alrededor de 70 científicos de toda Australia colaboraban en aproximadamente 58 proyectos diferentes. Los temas de investigación incluyen: dispersión de larvas, desarrollo de anticuerpos monoclonales para *A. planci* para identificarlos de otras larvas de estrellas de mar en muestras, determinar tasas de recuperación de peces y arrecifes de coral después de los brotes, uso de fotografía satelital para investigar los efectos de los brotes de las estrellas de mar, desarrollar modelos matemáticos para comprender los brotes, determinar la eficacia del control de las estrellas de mar, investigar posibles opciones de control biológico, realizar un análisis de riesgo de las estrellas de mar e investigar la depredación de las estrellas de mar (Moran, 1997).

Un equipo australiano demostró la primera inducción exitosa de una enfermedad transmisible en *A. planci* utilizando una inyección de medio de cultivo de tiosulfato-citrato-bilis-sacarosa (TCBS). Esta técnica tiene potencial para ser utilizada en un programa de biocontrol, sin embargo, requiere ciertos cuidados para su aplicación (Rivera-Posada *et al.*, 2011; 2014). Este tipo de investigación no se limita a Australia. Científicos de Japón identificaron un atrayente de alimentación para esta estrella de mar derivado de las vísceras del erizo de mar *Toxopneustes pileolus* (Teruya *et al.*, 2001). Mediante esta investigación se encontró que el ácido araquidónico y el ácido alfa-linolénico (ambos ácidos grasos insaturados) tienen actividad biológica y se anticipa que estos atrayentes podrían usarse para controlar a *A. planci*. Desafortunadamente se requieren más investigaciones para llegar a considerarlo como una alternativa eficiente para el control de la estrella "corona de espinas".

Otra alternativa implementada para el control de brotes de *Acanthaster* ha sido el ácido cítrico. En una investigación más reciente realizada por Buck *et al.* (2016), encontraron que la combinación de una inyección de una solución de 20 mL de ácido cítrico a una concentración de 90-150 g/L⁻¹ en cuatro puntos de la estrella de mar (5 mL por punto) puede matar a la estrella con un 100% de efectividad. Este estudio demostró que las inyecciones de una solución de ácido cítrico y agua de mar, es un método eficiente, económico y fácil de usar para eliminar estrellas de mar “corona de espinas”.

La mejor política de gestión general según la Sociedad de Conservación de Palau (Palau Conservation Society, 1999) es no interferir con los brotes a menos que las áreas sean pequeñas y de valor especial, como un sitio turístico o de patrimonio. Las búsquedas visuales de infestaciones de estrellas de mar que utilizan lanchas rápidas han sido una herramienta útil para localizar agregaciones de *A. planci*. La recolección manual es el único método generalizado utilizado hasta la fecha y solo es factible para proteger áreas pequeñas; no se conoce el control a gran escala (Birkeland & Lucas, 1990). Se estima que el 1% de las estrellas de mar se regenerarán a partir de fragmentos, lo que significa que cortarlas y arrojarlas de nuevo en el arrecife es una opción de control viable. Este método es mejor que usar productos químicos, que ensucian el arrecife y son potencialmente dañinos para los humanos y otros organismos. Alternativamente, la estrella de mar puede ser removida del arrecife y eliminada por vertido en la tierra; sin embargo, esto elimina los nutrientes de los ecosistemas arrecifales y aumenta la salinidad del suelo en los sitios de descarga. El tratamiento químico de las estrellas de mar con compuestos letales ayuda con el problema de eliminación y es más eficiente, con más de 100 estrellas de mar inyectadas por persona por hora (Birkeland & Lucas, 1990). Las siguientes toxinas se han usado con éxito para matar la estrella de mar corona de espinas: bisulfato de sodio (Palau Conservation Society, 1999), 25 ml de formalina concentrada, 15 ml de amoníaco concentrado, 10 ml de ácido clorhídrico al 16% (HCl) y 10 ml de sulfato de cobre saturado (CuSO₄) (Birkeland & Lucas, 1990). El sulfato de cobre es la opción más barata, sin embargo, se sabe que es tóxico para algunos animales marinos y existe preocupación por sus efectos no deseados en los arrecifes de coral (Birkeland & Lucas, 1990). Harriott *et al.* (2003) y Lassig (1995) recomiendan el bisulfato de sodio como la toxina más segura y efectiva, aunque es extremadamente costoso.

Los equipos de control pueden consistir en recolectores de recompensas, voluntarios y/o equipos de control empleados. Como las espinas de esta estrella de mar son venenosas, se debe tener cuidado al caminar por el arrecife (Moran, 1997). Las recompensas suelen ser de \$USD 0.20-10 por estrella de mar, mientras que los costos de contratar un equipo de control son significativamente más altos. Por ejemplo, el sistema de recompensas se usó en Ryukyus (Japón) y costó \$USD 0.18 por estrella de mar, mientras que un equipo de control utilizado en Shikoku (Japón) costó \$USD 16.29 por estrella de mar (Birkeland & Lucas 1990). Los sistemas de recompensas también se han utilizado con éxito en Samoa Americana y Palau, pero han fallado en Guam, Saipan, Tinian y Rota, probablemente debido a la inaccesibilidad de las áreas de infestación de estrellas de mar. Las estrellas de mar deben ser accesibles para buceadores y vadeadores y debe ser de fácil acceso al sitio en automóvil si se quiere que el sistema de recompensas funcione. Los sitios a los que se debe acceder

mediante el buceo u otros medios especializados no son adecuados para este sistema. Otra limitación del método de recompensa es que los cazadores tienden a centrarse en obtener ganancias en lugar de controlar las estrellas de mar, por lo que pasan de una densa agregación a otra, dejando atrás aquellos ejemplares que se encuentran de manera dispersa (Birkeland & Lucas, 1990). Una posible solución a esto sería combinar los esfuerzos de ambos sistemas: caza-recompensas con un equipo de control cuyo trabajo sería rastrear el área para recoger las estrellas de mar individuales que los cazadores no han capturado. Una opción alternativa sería educar a los cazadores sobre la importancia de recolectar, si es posible, hasta el último individuo de un sitio para reducir las posibilidades de otro brote a futuro. Además, el precio de la recompensa inicial podría incrementarse para los pocos individuos restantes en un sitio y así alentar a los cazadores de recompensas a que los recolecten (Birkeland & Lucas, 1990).

El efecto de una mayor escorrentía de los sistemas terrestres humanos a los ríos y luego al mar y los ecosistemas de arrecifes asociados se ha relacionado con la eutrofización (crecimiento de algas) (Brodie *et al.*, 2005; Bell, 1992). Esto bien podría ser un importante factor causante de los brotes de estrellas de mar corona de espinas (Bell, 1992). Por lo tanto, en las áreas donde existen niveles elevados de nutrientes y crecimiento de algas, se deben tomar precauciones especiales para controlar los efluentes de aguas residuales y la escorrentía en las cercanías de los arrecifes de coral (Bell, 1992). Dichas políticas de manejo deberían aplicarse en cualquier parte del mundo donde existan sistemas de arrecife de coral frágiles.

Por último, la eliminación por parte de los humanos de grandes depredadores de los sistemas marinos a través de la actividad de pesca puede contribuir directa o indirectamente (a través de cascadas tróficas) a los brotes de *A. planci*, aunque el vínculo causal no está demostrado. Sin embargo, Sweatman (2008) demostró que las zonas de no captura en la Gran Barrera de Coral se vieron afectadas con menos frecuencia por los brotes de estrellas de mar corona de espinas que las zonas no protegidas. Esto sugiere un papel para las áreas marinas protegidas en la prevención de brotes de *A. planci*. Fraser *et al.* (2000) proporcionan una guía de las mejores prácticas de manejo en el control de *A. planci*.

Debido a que en México *A. planci* no se considera una especie invasora o no se han reportado brotes masivos como en Australia se podría pensar que no se requiere un programa de control o erradicación de la estrella de mar. La abundancia local de la estrella "corona de espinas" en arrecifes de Panamá y México fue aparentemente constante entre 1970 y 1990, pero durante la última década las cosas han cambiado. Por un lado, se ha encontrado que en Panamá la especie va en franca extinción local, mientras que en México sus números van ligeramente en aumento (Reyes-Bonilla & Herrero-Perezrul, 2003). Sin embargo, en México no se han registrado valores de abundancia que sean considerados de riesgo (más de 40 individuos por hectárea), y sus efectos sobre los arrecifes son bajos ya que cada individuo apenas consume entre cinco y 10 metros cuadrados de coral al año (Dana & Wolfson, 1970; Reyes-Bonilla & Calderón-Aguilera, 1999). A pesar de que no se considera un peligro para los arrecifes coralinos del Golfo de California, un caso particular se presentó en la localidad de Cabo Pulmo (decretado como Parque Nacional) donde

pescadores y prestadores de servicios de buceo implementaron por su cuenta un programa de eliminación de la estrella “corona de espinas”. Dicho programa ha provocado una reducción significativa de la especie, provocando prácticamente su desaparición en esta área (Reyes-Bonilla & Herrero-Perezrul, 2003). Esta situación pone en riesgo la estabilidad de las comunidades y es evidente que la falta de asesoría científica especializada ha puesto en riesgo no solo a la especie, sino que se puede poner en riesgo a todo el ecosistema arrecifal del parque.

3.7. Normatividad

En Australia y otras áreas del Indo-Pacífico han implementado diferentes modelos para el control y manejo de los brotes de *A. planci*, mediante la implementación de diferentes técnicas de eliminación de las estrellas de mar en las zonas de arrecifes de coral (e.g. Fisk & Power, 1999; Fraser *et al.*, 2000; de Dios & Sotto, 2015; Schaffelke & Anthony, 2015).

Esta especie no está incluida en ningún programa de conservación o control en México.

3.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) realizado con la herramienta AS-ISK para *Acanthaster planci* fue de 22.0, el cual es equivalente a un riesgo Medio (Tabla 3.1, Anexo 2). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) es de 34.0, lo que equivale a un riesgo Alto, considerando predicciones de las condiciones ambientales en México a futuro. Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

Los resultados del análisis de riesgo indican que la estrella de mar corona de espinas *A. planci* puede ser altamente susceptible a las alteraciones ambientales de cambio climático, favoreciendo el incremento de los brotes masivos de estrellas. Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron altos (0.90 para BRA+CCA y 0.92 para BRA). El sector comercial resulta ser el menos afectado (5 pts) por la presencia de *A. planci*; sin embargo, el sector ambiental puede ser afectado fuertemente por su presencia (12 pts) y los rasgos nocivos de la especie son altamente significativos (20 pts).

Tabla 3.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo de la estrella de mar Corona de Espinas *Acanthaster planci* con la herramienta AS-ISK.

| Estadísticas | |
|-----------------------------------|--------------|
| Calificación | |
| BRA | 22.0 |
| Resultado BRA | Medio |
| BRA+CCA | 34.0 |
| Resultado BRA+CCA | Alto |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 2.0 |

| | |
|---|-------------|
| 1. Domesticación/Cultivo | 2.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 0.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 0.0 |
| B. Biología/Ecología | 20.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 9.0 |
| 5. Utilización de recursos | 7.0 |
| 6. Reproducción | 1.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 5.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | -2.0 |
| C. Cambio climático | 12.0 |
| 9. Cambio climático | 12.0 |
| Preguntas respondidas | |
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 5 |
| Ambiental | 12 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 20 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |
| BRA+CCA | 0.85 |
| BRA | 0.86 |
| CCA | 0.83 |

3.9. Resumen y conclusiones

Si bien los impactos humanos en los arrecifes de coral se pueden mitigar con relativa facilidad, es difícil predecir los brotes de estrellas de mar *A. planci* y aún más difícil gestionar sus poblaciones una vez que han alcanzado proporciones significativas. Hasta la fecha no se han registrado brotes masivos en México como los que ocurren en Australia o la región del Indo-Pacífico. Esto nos hace pensar que la estrella de mar mantiene poblaciones estables debido a las interacciones biológicas (por ejemplo, depredadores) dentro de las

comunidades que integran los sistemas de arrecife de coral del Pacífico mexicano y a que las condiciones ambientales no permiten un crecimiento acelerado de sus poblaciones. Otra razón que pudiera ser la más obvia es debido a la disponibilidad de alimento, ya que las estructuras coralinas en el Pacífico mexicano son pocas y de menor tamaño que las que se encuentran en la región del Indo-Pacífico.

Aunque se tiene mucha información sobre la biología de esta especie, la gran mayoría de esta proviene de estudios realizados en Australia, por lo que resulta de gran importancia para la toma de decisiones en nuestro país generar información de las poblaciones que se encuentran distribuidas en el Pacífico mexicano, principalmente sobre los factores ambientales que influyen más en el reclutamiento de individuos y por lo tanto en el crecimiento de las poblaciones. Posiblemente esto ayude a definir estrategias adecuadas antes de que se presente un brote masivo y afecte considerablemente los sistemas coralinos de la costa Pacífica de México o, por otro lado, evitar que se desarrollen programas de eliminación sin controles ni asesoría adecuada, que provoquen otro tipo de alteraciones o impactos negativos a los sistemas coralinos del país.

3.10. Referencias

Adler, M., Kaul, A. & Jawad, A. S. M. 2002. Foreign body synovitis induced by a crown-of-thorns starfish. *Rheumatology* 41: 230-231.

Adjeroud, M., Chancerelle, Y., Schrimm, M., Perez, T., Lecchini, D., Galzin, R. & Salvat, B. 2005. Detecting the effects of natural disturbances on coral assemblages in French Polynesia: a decade survey at multiple scales. *Aquatic Living Resources* 18: 111-123.

Al-Jufaili, S. M., Al-Jabri, M. M., Al-Baluchi, A., Baldwin, R. M., Wilson, S. C., West, F. & Matthews, A. D. 1999. Human impacts on coral reefs in the Sultanate of Oman. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 49: 65-74.

Babcock, R. C. & Mundy, C.N. 1992. Reproductive Biology, Spawning and Field Fertilization Rates of *Acanthaster planci*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 525-534.

Babcock, R. C., Mundy, C. N. & Whitehead, D. 1994. Sperm diffusion models and in situ confirmation of long-distance fertilization in the free-spawning asteroid *Acanthaster planci*. *Biological Bulletin* 186(1): 17-28.

Babcock, R. C., Milton, D. A. & Pratchett, M. S. 2016. Relationships between size and reproductive output in the crown-of-thorns starfish. *Marine Biology* 163: 234.

Barham, E. G., Gowdy, R. W. & Wolfson, F. H. 1973. *Acanthaster* (Echinodermata, Asteroidea) in Gulf of California. *Fishery Bulletin* 71(4): 927-942.

Bell, P. R. F. 1992. Eutrophication and coral reefs some examples in the Great Barrier Reef lagoon. *Water Research* 26(5): 553-568.

- 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.
- Birk, S.** 1979. *Crown of Thorn management plan*. Marine Resources Division, Koror, Palau.
- Birkeland, C.** 1982. Terrestrial Runoff as a Cause of Outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology* 69: 175-185.
- Birkeland, C. & Lucas, J. S.** 1990. *Acanthaster planci: major management problems of coral reefs*. Florida, CRC Press.
- Black, K. P. & Moran, P. J.** 1991. Influence of hydrodynamics on the passive dispersal and initial recruitment of larvae of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* 69(1-2): 55-65.
- Branham, J. M., Reed, S. A., Bailey, J. M. & Caperon, J.** 1971. Coral-eating sea stars: *Acanthaster planci*. Hawaii. *Science* 172: 1155-1157.
- Brauer, R. W., Jordan, M. R. & Barnes, D. J.** 1970. Triggering of the stomach eversion reflex of *Acanthaster planci* by coral extracts. *Nature* 228: 342.
- Brodie, J.** 2012. Great Barrier Reef dying beneath its crown of thorns. The Conversation. <http://theconversation.com/great-barrier-reef-dying-beneath-its-crown-of-thorns-6383>. Consultado el 18/03/2019.
- Brodie, J., Fabricius, K., De'ath, G. & Okaji, K.** 2005. Are increased nutrient inputs responsible for more outbreaks of crown-of-thorns starfish? *Marine Pollution Bulletin* 51(1-4): 266-278.
- Brusca, R. C.** 1973. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona. 513 pp.
- Brusca, R. C.** 2010. *The Gulf of California Biodiversity and Conservation*. Arizona University Press, Tucson, Arizona. 354 pp.
- Brusca, R. C. & Hendrickx, M. E.** 2010. Invertebrate Biodiversity and Conservation in the Gulf of California. En: Medellín R. & Brusca R. (Eds.), *The Gulf of California: Biodiversity and Conservation* (pp. 72-95). University of Arizona Press.
- Buck, A. C. E., Gardiner, N. M. & Boström-Einarsson, L.** 2016. Citric Acid Injections: An Accessible and Efficient Method for Controlling Outbreaks of the Crown-of-Thorns Starfish *Acanthaster cf. solaris*. *Diversity* 8: 28.
- Caballes, C. F., Pratchett, M. S., Kerr, A. M. & Rivera-Posada, J. A.** 2016. The role of maternal nutrition on oocyte size and quality, with respect to early larval development in the coral-eating starfish, *Acanthaster planci*. *PLoS ONE* 11(6): e0158007.
- Cameron, A. M., Endean, R. & De Vantier, L. M.** 1991. Predation on massive corals: Are devastating population outbreaks of *Acanthaster planci* novel events? *Marine Ecology Progress Series* 75(2-3): 251-258.

Caso, M. E. 1961. *Los equinodermos de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 123 pp.

Caso, M. E. 1962. Estudios sobre asteridos de México. Observaciones sobre especies Pacíficas del género *Acanthaster* y descripción de una subespecie nueva, *Acanthaster ellisii pseudoplanci*. *Anales del Instituto de Biología UNAM* 32(1-2): 313-331.

Caso, M. E. 1974. Morfología externa de *Acanthaster planci* (Linnaeus). *Journal of the Marine Biological Association of India* 16(1): 83-93.

Chesher, R. H. 1969. Destruction of Pacific corals by the sea star *Acanthaster planci*. *Science* 165: 280-283.

Clark, C. & Weitzman, B. 2008. Population Study Survey of *Acanthaster planci*, the Crown-of-Thorns starfish on the Northwest Coast Moorea, French Polynesia. Report of the University of California, Santa Cruz.

Colgan, M. W. 1987. Coral Reef Recovery on Guam (Micronesia) After Catastrophic Predation by *Acanthaster planci*. *Ecology* 68(6): 1592-1605.

Dana, T. & Wolfson, A. A. 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. & Moran, P. J. 1998. Factors affecting the behaviour of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* L.) on the Great Barrier Reef: 1: Patterns of activity. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 220(1): 83-106.

De'ath, G., Fabricius, K. E., Sweatman, H. & Puotinen, M. 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(44): 17995-17999.

de Dios, H. H. Y. & Sotto, F. 2015. Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster planci*) Population Control Technique and Management Strategies Designed for Developing Country. *Journal Science, Engineering and Technology* 3: 1-20.

DeVantier, L. M. & Deacon, G. 1990. Distribution of *Acanthaster planci* at Lord Howe Island, the southern-most Indo-Pacific reef. *Coral Reefs* 9: 145-148.

Dumas, P., Moutardier, G., Ham, J., Kaku, R., Gereva, S., Lefèvre, J. & Adjeroud, M. 2016. Timing within the reproduction cycle modulates the efficiency of villagebased crown-of-thorns starfish removal. *Biological Conservation* 204: 237-246.

Endean, R. 1977. *Acanthaster planci* infestations on the reefs of the Great Barrier Reef. 185-191. En: D. L. Taylor (Ed). *Proceedings of the Third International Coral Reef Symposium*. Volume 1. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida, USA.

Fabricius, K. E. 1996. Ecosystem recovery after episodic disturbance: Resilience of some coral reefs after *Acanthaster* outbreaks. *Senckenbergiana Maritima* 27(3-6): 227-235.

Fabricius, K. E., Okaji, K. & De'ath, G. 2010. Three lines of evidence to link outbreaks of the crown-of-thorns seastar *Acanthaster planci* to the release of larval food limitation. *Coral Reefs* 29: 593-605.

Faure, G. 1989. Degradation of coral reefs at Moorea Island French Polynesia by *Acanthaster planci*. *Journal of Coastal Research* 5(2): 295-305.

Fraser, N., Crawford, B. R. & Kusen, J. 2000. Best practices guide for crown-of-thorns clean-ups. Proyek Pesisir Special Publication. Coastal Resources Center Coastal Management Report #2225. Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narragansett, Rhode Island. 38 pp.

Fisk, D. A. & Power, M. C. 1999. *Development of Cost-Effective Control Strategies for Crown-of-thorns starfish*. CRC Reef Research Centre Technical Report No. 25 Townsville. CRC Reef Research Centre. 61 pp.

GBIF. 2018. GBIF Occurrence Download. Consultado el 12/12/2028 https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2271208.

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. 2004. High complexity food webs in lowdiversity Eastern Pacific reef-coral communities. *Ecosystems* 7: 358-367.

Glynn, P. W., Maté, J. L., Baker, A. C. & Calderón, M. O. 2001. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño-Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69(1): 79-109.

Gray, J. E. 1840. A synopsis of the genera and species of the class Hypostoma (*Asterias* Linnaeus). *Annals and Magazine of Natural History* 6: 175-184 & 275-290.

Guzman, H. M. & Cortes, J. 1992. Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-1983 El Nino disturbance. *Revista de Biología Tropical* 40(3): 309-324.

Harriott, V., Goggin, L. & Sweatman, H. 2003. Crown-of-thorns starfish on the Great Barrier Reef. Current state of knowledge. November 2003 (revised edition). CRC Reef Research Centre Ltd.

Hart, A. M. & Klumpp, D. W. 1996. Response of herbivorous fishes to crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* outbreaks: I. Substratum analysis and feeding ecology of *Acanthurus nigrofuscus* and *Scarus frenatus*. *Marine Ecology Progress Series* 132(1-3): 11-19.

Haszprunar, G. & Spies, M. 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.

Hendrickx, M. E., Brusca, R. C. & Findley, L. T. 2005. *Listado y Distribución de la Macrofauna del Golfo de California, México, Parte I: Invertebrados*. Arizona- Sonora Desert Museum. 429 p.

Hermosillo-Núñez, B., Rodríguez-Zaragoza, F., Ortiz, M., Galván-Villa, C. M., Cupul-Magaña, A. & Ríos-Jara, E. 2015. Effect of habitat structure on the most frequent echinoderm species inhabiting coral reef communities at Isla Isabel National Park (Mexico). *Community ecology* 16(1): 125-134.

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 Politécnico Nacional. La Paz, Baja California, 74 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.

Hoegh-Guldberg, O. 1994. Uptake of dissolved organic matter by larval stage of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci*. *Marine Biology* 120(1): 55-63.

Holguin-Quiñones, O. E., González-Medina, F. D. J., Solís-Marín, F. & Félix-Pico, E. F. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 1189-1199.

Johnson, D. B., Moran, P. J. & Drimls, S. 1990. Evaluation of a crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) control program at Grub Reef (central Great Barrier Reef). *Coral Reefs* 9: 167-171.

Katz, S. M., Pollock, F. J., Bourne, D. G. & Willis, B. L. 2014. Crown-of-thorn starfish predation and physical injuries promote brown band disease on corals. *Coral Reefs* 33: 705-716.

Kayal, M., Vercelloni, J., De Loma, T. L., Bosserelle, P., Chancerelle, Y., Geoffroy, S., Stievenart, C., Michonneau, F., Penin, L., Planes, S. & Adjeroud, M. 2012. Predator crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) outbreak, mass mortality of corals, and cascading effects on reef fish and benthic communities. *PloS one* 7(10): e47363.

Keesing J. K. & Lucas J. S. 1992. Field measurement of feeding and movement rates of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 156(1): 89-104.

Keesing, J. K., Wiedermeyer, W. L., Okaji, K., Halford, A. R., Hall, K. C. & Cartwright, C. M. 1996. Mortality rates of juvenile starfish *Acanthaster planci* and *Nardoa* spp. measured on the Great Barrier Reef, Australia and in Okinawa, Japan. *Oceanologica Acta* 19(3-4): 441-448.

Keesing, J. K., Halford, A. R., Hall, K. C. & Cartwright, C. M. 1997. Large-scale laboratory culture of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata: Asteroidea). *Aquaculture* 157: 215-226.

Lane, D. J. 2012. *Acanthaster planci* impact on coral communities at permanent transect sites on Bruneian reefs, with a regional overview and a critique on outbreak causes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92(4): 803-809.

Lassig, B. 1995. Controlling crown-of-thorns starfish. Great Barrier Reef Marine Park Authority.

Lourey, M. J., Ryan, D. A. J. & Miller, I. R. 2000. Rates of decline and recovery of coral cover on reefs impacted by, recovering from and unaffected by crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci*: A regional perspective of the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* 196: 179-186.

Luna-Salguero, B. M. & Reyes-Bonilla, H. 2010. Community and trophic structure of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in rocky reefs of Loreto, Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 20(2): 127-134.

Lucas, J. S., Nash, W. J. & Nishida, M. 1985. Aspects of the evolution of *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata, Asteroidea). *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti* 5: 327-332.

MacNeil, M. A., Mellin, C., Pratchett, M. S., Hoey, J., Anthony, K. R., Cheal, A. J., Miller, I., Sweatman, H., Cowan, Z. L., Taylor, S., Moon, S. & Fongnesbeck, C. J. 2016. Joint estimation of crown of thorns (*Acanthaster planci*) densities on the Great Barrier Reef. *PeerJ* 4: e2310.

Mah, C. L. 2018. World Asteroidea Database. *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758). Consultado en: World Register of Marine Species <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213289> on 2018-06-17.

McKnight, D. G. 1978. *Acanthaster planci* (Linnaeus) (Asteroidea: Echinodermata) at the Kermedec Islands. *N. Z. Oceanogr. Inst. Rec.* 4: 17-19.

Moore, R. J. 1990. Persistent and transient populations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. Pp: 236-277. En: R. H. Bradbury. *Acanthaster and the Coral Reef: A theoretical perspective*. Springer, Berlin, Heidelberg. 348 pp.

Moran, P. J. 1986. The *Acanthaster* phenomenon. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 24: 379-480.

Moran, P. J. 1988. The *Acanthaster* phenomenon. *AIMS Monograph Series* 7.

Moran, P. J. 1990. *Acanthaster planci* (L.): biographical data. *Coral reefs* 9(3): 95-96.

Moran, P. J. 1997. Crown-of-thorns starfish questions and answers. Australian Institute of Marine Science (AIMS).

Moran, P. J., Bradbury, R. H. & Reichelt, R. E. 1988. Distribution of recent outbreaks of the Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) along the Great Barrier Reef: 1985-1986. *Coral Reefs* 3: 125-137.

- Morello, E. B., Plagányi, É. E., Babcock, R. C., Sweatman, H., Hillary, R. & Punt, A. E.** 2014. Model to manage and reduce crown-of-thorns starfish outbreaks. *Marine Ecology Progress Series* 512: 167-183.
- Murillo-Cisneros, D. A.** 2012. Variación espacio-temporal de *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 63 pp.
- Nakamura, R.** 1986. A morphometric study on *Acanthaster planci* populations in the Ryukyu Islands Japan. *Galaxea* 5(2): 223-238.
- Narváez, K. & Zapata, F. A.** 2009. First record and impact of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (Spinulosida: Acanthasteridae) on corals of Malpelo Island, Colombian Pacific. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl. 1): 139-143.
- Nicolet, K. J., Chong-Seng, K. M., Pratchett, M. S., Willis, B. L. & Hoogenboom, M. O.** 2018. Predation scars may influence host susceptibility to pathogens: evaluating the role of corallivores as vectors of coral disease. *Scientific Reports* 8: 5258.
- Nishida, M. & Lucas, J. S.** 1988. Genetic differences between geographic populations of the crown-of-thorns starfish throughout the Pacific region. *Marine Biology* 98(3): 359-368.
- Nugues, M.M. & Bak, M.P.** 2009. Brown-band syndrome on feeding scars of the Crown-of-thorn starfish *Acanthaster planci*. *Coral Reefs*, 28: 507-510.
- Ormond, R. F. G. & Campbell, A. C.** 1974. Formation and breakdown of *Acanthaster planci* aggregations in the Red Sea. Pp. 595-619. En: A. M. Cameron, B. M. Campbell, A. B. Cribb, R. Endean, J. S. Jell, O. A. Jones, P. Mather & F. H. Talbot (Eds). *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium*. The Great Barrier Reef Committee, Brisbane, Australia.
- Ormond, R., Bradbury, R. H., Bainbridge, S., Fabricius, K., Keesing, J., De Vantier, L. M., Medlay, P. & Steven, A.** 1990. Test of a model of regulation of crown-of-thorns starfish by fish predators. 189-207. En: R. H. Bradbury (Ed). *Acanthaster and the coral reef: a theoretical perspective*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Palau Conservation Society.** 1999. Crown of thorns starfish control strategy draft.
- PERSGA/GEF.** 2003. Coral Reefs in the Red Sea and Gulf of Aden. Surveys 1990 to 2000 Summary and Recommendations. PERSGA Technical Series No. 7. PERSGA, Jeddah.
- Quinn, N. J. & Kojis, B. L.** 2003. The dynamics of coral reef community structure and recruitment patterns around Rota, Saipan, and Tinian, western Pacific. *Bulletin of Marine Science* 72(3): 979-996.
- Quinn, N. L. & Kojis, B. L.** 2006. Natural resilience of coral reef ecosystems. 61-75. En: W. F. Precht (Ed.) *Coral reef restoration handbook*. Taylor and Francis, Boca Raton.
- Ravindran, J., Raghukumar, C. & Raghukumar, S.** 1999. Disease and stress-induced mortality of corals in Indian reefs and observations on bleaching of corals in the Andamans. *Current Science* 76(2): 233-237.

- Reichert, R. E., Bradbury, R. H. & Moran, P. J.** 1990. The crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*, on the great barrier reef. *Mathematical and Computer Modelling* 13(6): 45-60.
- Reyes-Bonilla, H. & Calderón-Aguilera, L. E.** 1999. Population density, distribution and consumption rates of three corallivores at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology* 20(3-4): 347-357.
- Reyes-Bonilla, H. & Herrero-Perezrul, M. D.** 2003. El caso de la “corona de espinas” ¿excesos de celo conservacionista?. La Jornada Ecológica. <https://www.jornada.com.mx/2003/03/31/eco-h.html>.
- Reyes-Bonilla, H., González-Azcárraga, A. & Rojas-Sierra, A.** 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 233-244.
- Ríos-Jara, E., Galván-Villa, C. M. & Solís-Marín, F. A.** 2008. Equinodermos del Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 131-141.
- Rivera-Posada, J. A., Pratchett, M. S., Cano-Gomez, A., Arango-Gomez, J. D. & Owens, L.** 2011. Injection of *Acanthaster planci* with thiosulfate-citrate-bile-sucrose agar (TCBS). I. Disease induction. *Diseases of Aquatic Organisms* 97(2): 85e94.
- Rivera-Posada, J. A., Pratchett, M. S., Aguilar, C., Grand, A. & Caballes, C. F.** 2014. Bile salts and the single-shot lethal injection method for killing crown-of-thorns sea stars (*Acanthaster planci*). *Ocean & Coastal Management* 102: 383-390.
- Rodríguez-Villalobos, J. C., Work, T. M., Calderon-Aguilera, L. E., Reyes-Bonilla, H. & Hernández, L.** 2015. Explained and unexplained tissue loss in corals from the Tropical Eastern Pacific. *Diseases of aquatic organisms* 116(2): 121-131.
- 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.
- Schaffelke, B. & Anthony, K.** 2015. Australian Institute of Marine Science Crown-Of-Thorns Starfish Research Strategy. AIMS: Australia’s Tropical Marine Research Agency. 10 pp.
- Seenprachawong, U.** 2016. An Economic Valuation of Coastal Ecosystems in Phang Nga Bay, Thailand. *Marine and Coastal Ecosystem Valuation, Institutions, and Policy in Southeast Asia*, pp 31-45.
- Seymour, R. M. & Bradbury, R. H.** 1999. Lengthening reef recovery times from crown-of-thorns outbreaks signal systemic degradation of the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* 176: 1-10.
- Sladen, W. P.** 1889. *Report on the Scientific Results of Voyage of H. M. S. Challenger. Asteroidea*, Vol. XXX. p. 893.
- Souter, D. & Lindén, O.** 2005. *Status Report on Coral Reef Degradation in the Indian Ocean*. Department of Biology and Environmental Science. University of Kalmar. CORDIO, Kalmar, 96 pp.

- Sweatman, H.** 2008. No-take reserves protect coral reefs from predatory starfish. *Current Biology* 18: R598-R599.
- Teruya, T., Suenaga, K., Koyama, T., Nakano, Y. & Uemura, D.** 2001. Arachidonic acid and alpha-linolenic acid, feeding attractants for the crown-of-thorns sea star *Acanthaster planci*, from the sea urchin *Toxopneustes pileolus*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 266(2): 123-134.
- Timmers, M. A., Andrews, K. R., Bird, C. E., deMaintenton, M. J., Brainard, R. E. & Toonen, R. J.** 2010. Widespread Dispersal of the Crown-of-Thorns Sea Star, *Acanthaster planci*, across the Hawaiian Archipelago and Johnston Atoll. *Journal of Marine Biology* 2011, Article ID 934269: 10 pages.
- Timmers, M. A., Bird, C. E., Skillings, D. J., Smouse, P. E. & Toonen, R. J.** 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): e31159.
- Tsuda, R. T., Jones, R. S., Randall, R. H. & Struck, M. R.** 1970. *Acanthaster planci* crown of thorns starfish: Resurvey of Saipan and Tinian: Survey of Aguijan. University of Guam.
- Uthicke, S., Schaffelke, B. & Byrne, M.** 2009. A boom–bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs* 79(1): 3-24.
- Verrill, A. E.** 1867. Notes on the Radiata in the museum of Yale College, with descriptions of new genera and species: Comparison of the tropical echinoderm fauna of the east and west coasts of America. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 1: 339-351.
- Vicente, N.** 1999. Natural treasures under heavy pressure. *Oceanorama* 30: 7-12.
- Vogler, C., Benzie, J., Lessios, H., Barber, P. & Wörheide, G.** 2008. A threat to coral reefs multiplied? Four species of crown-of-thorns starfish. *Biology Letters* 4(6): 696-699.
- Wilkinson, C.** 2004. *Status of the Coral Reefs of the World: 2004*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Yamaguchi, M.** 1986. *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. *Coral Reefs* 5: 23-30.
- Yamaguchi, M.** 1987. Occurrences and persistency of *Acanthaster planci* pseudo-population in relation to oceanographic conditions along the Pacific coast of Japan. *Galaxea* 6: 277-288.
- Yamaguchi, M.** 1973. Early life histories of coral reef asteroids, with special reference to *Acanthaster planci* (L.). Pp: 369-387. En: *Biology and Geology of Coral Reefs*, Vol. 2, Jones, O. A., Endean, R. (eds). Academic Press, New York.
- Zapata, F. A., Del Mar-Palacios, M., Zambrano, V. & Rodríguez-Moreno, M.** 2017. Filling the gaps: first record of the Crown-of-thorns Starfish, *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758) (Spinulosida: Acanthasteridae), at Gorgona Island, Colombia, Tropical Eastern Pacific. *Check List* 13(3): 2112.

4.1. Análisis de riesgo de la Estrella de Mar de Peine *Astropecten polyacanthus* (Echinodermata: Astropectinidae)

El género *Astropecten* es uno de los más diversos de toda la clase Asteroidea, con cerca de 150 especies descritas con una morfología muy similar. Debido a estas similitudes morfológicas las determinaciones taxonómicas resultan muy complejas y poco definidas. Es un género ampliamente distribuido en el mundo, con especies que cumplen papeles ecológicos análogos en diferentes latitudes. En general las especies presentan una gran capacidad de dispersión en etapas larvales (Zulliger & Lessios, 2010). A pesar de su gran diversidad, la mayoría de las especies viven en fondos suaves (especialmente sustratos arenosos y limosos) desde zonas someras hasta grandes profundidades (1,500 m) (Clark & Downey, 1992). Sus características morfológicas como cuerpo aplanado, discos pequeños a moderados y cinco brazos con prominentes espinas bordeándolos resultan ser adaptaciones muy funcionales para estos ambientes (Figura 10). Sus pies ambulacrales se disponen en dos líneas a lo largo de los surcos ambulacrales. A diferencia de la mayoría de las estrellas de mar cada pie ambulacral posee dos bulbos llamados ámpulas (Heddle, 1967). Estas ámpulas proveen el poder necesario para desplazar los granos de sedimento y así poder enterrarse o desplazarse entre los sustratos arenosos.



Figura 10. Estrella de mar de peine *Astropecten polyacanthus*. Fotografía: Cristian Galván.

4.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Echinodermata Brugière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Asterozoa ND

Clase Asteroidea de Blainville, 1830

Superorden Valvatacea Blake, 1987

Orden Paxillosida Perrier, 1884

Familia Astropectinidae Gray, 1840

Género *Astropecten* Gray, 1840

Astropecten polyacanthus Müller & Troschel, 1842

Sinonimias:

Astropecten chinensis Grube, 1866 (Sinónimo de acuerdo a Sladen (1889))

Astropecten edwardsi Verrill, 1867

Astropecten ensifer Grube, 1866

Astropecten hystrix Müller & Troschel, 1842

Astropecten samoensis Perrier, 1869 (Una variedad de acuerdo a Doderlein (1917))

Nombres comunes³:

Estrella de Mar de Peine (español)

Sand sifting starfish (inglés)

Comb sea star (inglés)

Brown-spotted combstar (inglés)

b. Descripción

Es una estrella de tamaño pequeño que llega a tener brazos de unos 9 cm (3.5 pulgadas). Es una estrella aplanada con cinco brazos laterales relativamente rectos que se estrechan en puntos agudos dando una forma de estrella distinta. Los brazos están bordeados con una serie de espinas largas y afiladas en forma de peine a lo largo de su margen, debido a esta característica es que recibe su nombre común. Las placas superomarginales tienen un ancho menor o inferior a la longitud, con espinas conspicuas, excepto en la segunda (o segunda a cuarta), donde las placas se reducen y carecen de espinas que dejan un espacio. Los pies ambulacrales son puntiagudos en lugar de tener ventosas, lo que es más conveniente para excavar (Fisher, 1906; Chao, 1999). La superficie aboral es de color variado, puede ser púrpura oscuro, marrón, verde-grisáceo o café, en ocasiones presenta patrones de manchas oscuras repartidas equitativamente en los radios. La superficie oral es de un color naranja intenso. En la superficie superior, las paxilas (pequeños pilares con

³ www.iucngisd.org. Consultado el 07 de junio de 2019.

picos aplanados) son de color crema, gris o marrón, los colores a veces forman un patrón Chevrón o en espiga (Humphreys, 1981).

Astropecten polyacanthus suele confundirse con *Archaster* spp; parecen similares porque ambos han desarrollado características que les permiten excavar en sustratos arenosos por medio de una evolución convergente. *Archaster* spp. poseen espinas que son planas y sin filo y en su superficie superior tiene filas de placas paralelas y radiales, mientras que *A. polyacanthus* no lo tiene (Ventura, 2013).

c. Biología e historia natural

Astropecten polyacanthus es una especie ampliamente distribuida en Australia, ocurre en aguas tropicales y templadas (Byrne *et al.*, 2017). Es un organismo bentónico que habita fondos arenosos y sedimentos limosos, en un rango de profundidad de 0 a 185 m (Rowe & Gates, 1995). La estrella de peine pasa gran parte de su tiempo enterrada en el lecho marino. Se alimenta de detritos, moluscos bivalvos y gasterópodos que se traga enteros También a veces engulle los guijarros y digiere la biopelícula y los pequeños invertebrados que se adhieren a la superficie (Schoppe, 2000).

Se tiene poca información sobre su reproducción, sin embargo, como otras especies del género *Astropecten*, se puede determinar que es una especie que se reproduce solamente de forma sexual, es una especie gonocórica, con una proporción similar de machos y hembras en las poblaciones naturales. El sistema reproductivo está compuesto de gónadas, gonoductos y gonoporos (Walker, 1982). Durante el ciclo gametogénico de las especies de *Astropecten*, las gónadas incrementan su tamaño con la producción de gametos, como típicamente ocurre en las estrellas de mar. La variación en el tamaño está relacionada a fluctuaciones en los niveles de esteroides (estrógenos y progesteronas) en las gónadas de la estrella (Colombo & Belvedere, 1976). Es común que en otras especies de *Astropecten* se presenten ciclos reproductivos estacionales (Nojima, 1983; Grant & Tyler, 1986; Freeman *et al.*, 2001), sin embargo, se desconoce si esto sucede con *A. polyacanthus*. En Egipto se encontró que la población de *A. polyacanthus* se reproduce todo el año, pero se presentaron picos durante la primavera y el otoño. La fecundidad máxima encontrada fue de entre 4,800,000 a 7,465,860 oocitos/hembra, y se determinó que la fecundidad presenta aumentos exponenciales con el aumento del tamaño del cuerpo, el peso corporal y el peso de la gónada (Hellal *et al.*, 2012).

d. Comportamiento colonial/conducta

Es una especie solitaria, que pasa la mayor parte del tiempo enterrada en la arena (Galván-Villa obs. pers.).

e. Estatus

Es nativa de zonas costeras tropicales y continentales, desde Narooma al sur de Australia hasta el islote Wagonga al oeste de Australia; también se encuentra en la Gran Barrera de Coral, Isla de Lord Howe, Isla de Norfolk e Islas Kermadec. Se ha reportado en el sureste de Arabia, Golfo Pérsico, Maldivas, Ceilán, bahía de Bengala, este de la India, norte de Australia, Filipinas, China, sur de Japón, islas del Pacífico sur e islas de Hawái (Clark & Rowe, 1971;

Rowe & Gates, 1995) (Figura 11). Los reportes de esta especie se presentan de forma casi continua desde 1950 con algunos picos sobresalientes en 1967, 1979, 1990, 1997, 2017, aparentemente con un patrón cíclico (Figura 12). Se encuentran algunos registros en la costa de Brasil, sin embargo, deben ser revisados y confirmados (GBIF, 2018).

Como especie invasora solo se ha encontrado en Manzanillo, Colima en el Pacífico mexicano (Galván-Villa obs. pers.).

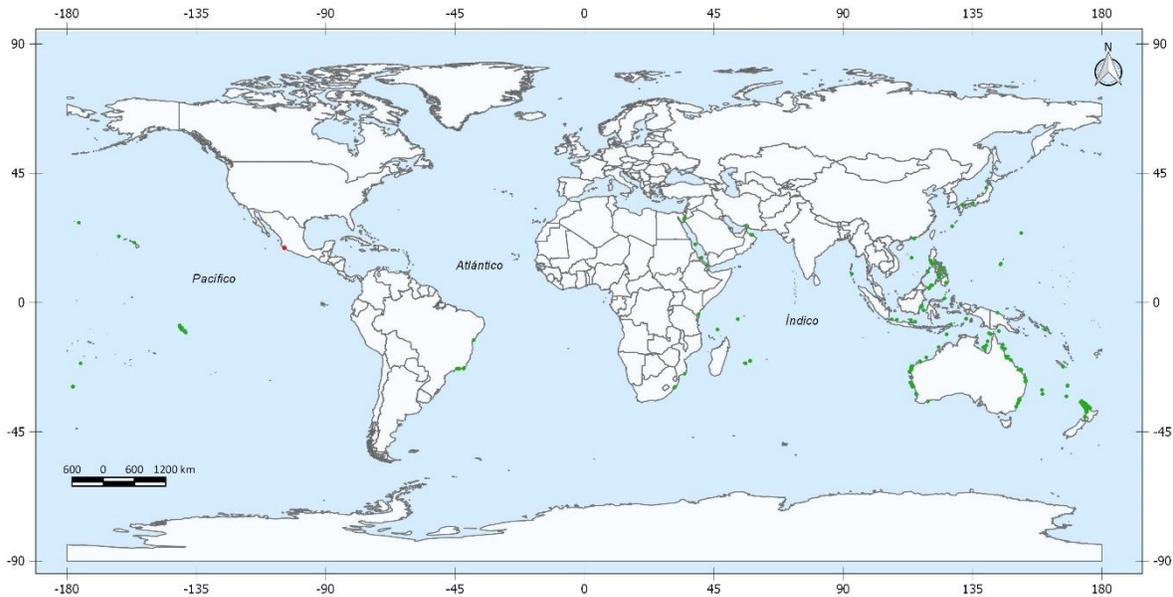


Figura 11. Distribución mundial de *Astropecten polyacanthus*. Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución introducida. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

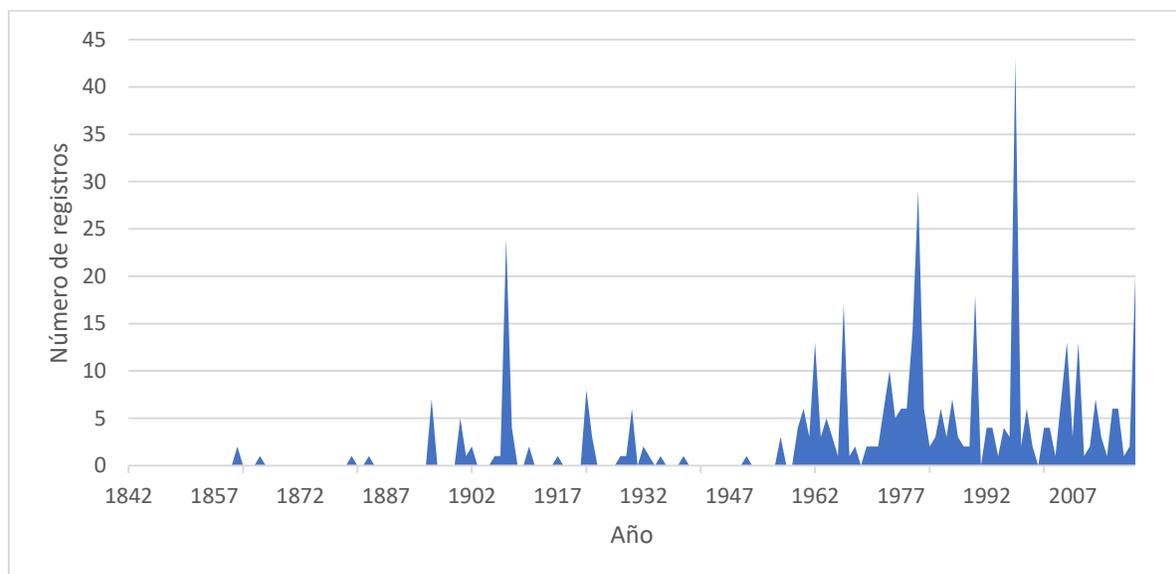


Figura 12. Ocurrencias de *Astropecten polyacanthus* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

4.3. Rutas de introducción

En el Mundo

No se tiene información disponible sobre sus rutas de introducción o dispersión.

En México

No se tiene información sobre el vector de introducción de esta especie a México. Es posible que algunas larvas hayan sido transportadas en el agua de lastre de embarcaciones que llegan al puerto de Manzanillo, Colima, provenientes del Pacífico occidental o las islas de Hawái. La posibilidad de que esta especie haya sido introducida como fauna adherida a los cascos de los barcos (*fouling*) es muy baja debido a sus hábitos naturales y a que sus pies ambulacrales no están adaptados para adherirse a superficies rígidas (ver punto 4.2b), como lo hacen los pies ambulacrales con discos (Ventura, 2013).

4.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

Desconocido.

b. Potencial de dispersión

Se considera que *A. polyacanthus* presenta un potencial de dispersión alto, debido a que presenta una larva bipinaria que puede vivir hasta 60 días [con base en información de *A. aranciacus* (Hörstadius, 1938)]. Con base en experimentos en laboratorio, se asume que el estadio planctónico de varias especies de *Astropecten* es largo, lo que les permite dispersarse ampliamente. *A. polyacanthus* posee una etapa larvaria de unos pocos días, pero se ha reportado en el Mar Rojo, el Océano Índico y el Pacífico (Döderlein, 1917). Esto podría deberse a que la etapa larvaria planctónica es mucho mayor en el mar que en el

laboratorio, porque el flujo de genes se realiza (o se realizó) a través de poblaciones distribuidas continuamente, o porque se incluye más de una especie biológica dentro de *A. polyacanthus* (Zulliger, 2009).

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Factores físicos

Es una estrella que se encuentra en fondos arenosos en los cuales puede desplazarse con facilidad para encontrar su alimento. En la bahía de Manzanillo se ha observado en zonas de fondo arenoso, donde se encuentran de forma abundante algunas especies de erizos irregulares, llamados comúnmente corazones de mar (i.e. *Agassizia scrobiculata*, *Metalia spatangus*, *Brissus obesus*, *Plagiobrissus pacificus*), gusanos poliquetos y bivalvos, de los cuales posiblemente se alimenta (Galván-Villa obs. pers.).

Factores biológicos

El establecimiento de *Astropecten polyacanthus* puede estar altamente favorecido por la disponibilidad de alimento. Es un depredador activo que se alimenta de invertebrados infaunales, siendo moluscos, pequeños crustáceos, ofiuras y gusanos poliquetos sus presas principales (Jangoux, 1982). Las especies del género *Astropecten* son organismos con fecundación externa, es decir, que liberan sus gametos al agua donde se realiza la fecundación. La mayoría poseen larvas planctotróficas bipinarias (Ventura, 2013), algo que puede favorecer ampliamente su dispersión. Entre el 2017 y 2018, en Manzanillo se han encontrado dos ejemplares cerca de la playa a unos pocos metros de profundidad (7-11) y uno más en zonas arenosas a una profundidad de 50 metros (Galván-Villa obs. pers.).

Factores humanos

No se tiene información sobre factores humanos que favorezcan su establecimiento o dispersión.

d. Historia de introducción en México

Esta especie solo se ha observado dentro de la bahía de Manzanillo, Colima (Figura 13). Es muy probable que su introducción al Pacífico mexicano se dio por medio del transporte de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto provenientes del Indo-Pacífico. El primer registro se encontró en noviembre de 2017 de un individuo que se encontraba a 50 metros de profundidad cerca del sitio de Los Frailes (Galván-Villa obs. pers.). Posteriormente, en noviembre de 2018 se encontraron dos individuos en la playa La Audiencia (Galván-Villa obs. pers.). Se requieren estudios científicos para determinar el origen de estos organismos y si estos constituyen una población establecida y en crecimiento dentro de la bahía.

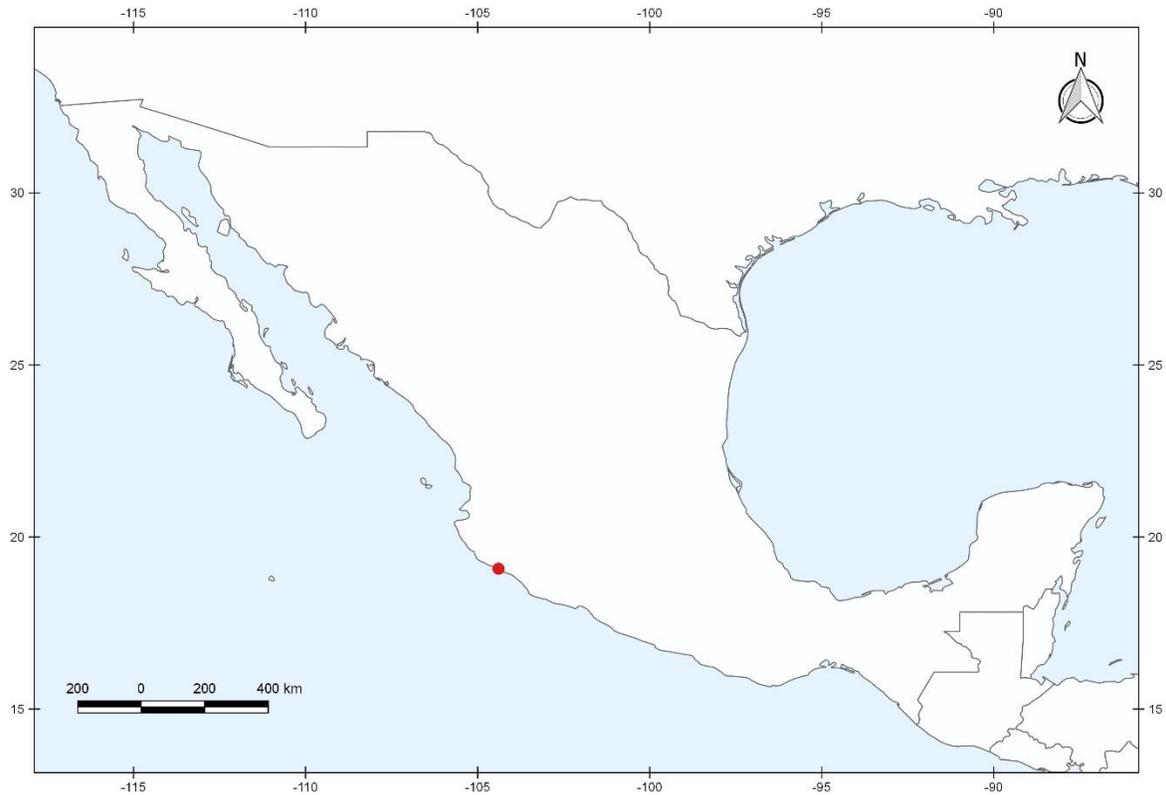


Figura 13. Distribución de *Astropecten polyacanthus* en México. Fuente: Ivonne García Quezada.

4.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

Astropecten polyacanthus contiene una potente neurotoxina, llamada tetrodotoxina, también conocida como TTX, que no tiene un antídoto conocido. Esta toxina es también producida por peces de la familia Tetraodontidae (Robertson & Allen, 2016).

De manera directa la especie es inofensiva para las personas. Sin embargo, debido a su capacidad para producir TTX esta puede ser bioacumulada por otros organismos como peces, y estos posteriormente ser ingeridos por personas, lo que puede causar intoxicación a las mismas (Narita *et al.*, 1981; Noguchi *et al.*, 1982; Maruyama *et al.*, 1983; Miyazawa *et al.*, 1985; Noguchi & Arakawa, 2008; Arakawa *et al.*, 2010; Noguchi *et al.*, 2011; Bane *et al.*, 2014). No presenta mecanismos para inyectar de forma directa la toxina TTX a una persona. La ruta común de intoxicación es por la vía de ingestión de tejido contaminado (e.g. peces o moluscos) y no se tiene algún antídoto para este veneno (Bane *et al.*, 2014).

En un caso de envenenamiento paralítico en Japón, se encontró que la víctima había comido una coraza de trompeta, *Charonia lampas*, que había adquirido la toxina a través de su cadena alimenticia, lo que implicaba a *Astropecten polyacanthus*. En un estudio que siguió a este incidente, la mayoría de las 54 estrellas de peine analizadas contenían TTX, y un individuo tenía una puntuación de toxicidad de 520 unidades ratón/gramo (Miyazawa *et al.*, 1985).

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

No se tiene registro de que esta especie haya causado impactos ambientales o a la biodiversidad de alguna región.

iii. Impactos a actividades productivas

No se tiene registro de que esta especie haya causado impactos a alguna actividad productiva en alguna región.

iv. Impactos económicos

No se tiene registro de que esta especie haya causado impactos económicos en alguna región.

v. Otros impactos

Ninguno.

4.6. Control y mitigación

No existen medidas de control o mitigación para esta especie.

4.7. Normatividad

De manera general, en México se cuenta con la “Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación” en la cual se establece un marco normativo para especies invasoras con los nombres de tratados internacionales y leyes, reglamentos y normas mexicanas. En el reglamento de la Ley de Pesca (DOF, 2004) se incluye el Capítulo V “De la introducción de especies vivas en cuerpos de agua de jurisdicción federal” obliga a que “En caso de que se pretenda introducir especies exóticas se deberá presentar la descripción del posible efecto que causaría la introducción de la especie en cuestión sobre la flora y fauna nativa” (Artículo 125). En este caso no se considera la introducción accidental o por vías indirectas como el agua de lastre.

México no cuenta con una normatividad específica que regule la introducción de especies marinas no nativas transportadas como larvas en el agua de lastre o como juveniles y adultos en los cascos de las embarcaciones (Okolodkov *et al.*, 2007). Sin embargo, es uno de los países firmantes del Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (Convenio BWM) (OMI, 2017). Esto es de gran relevancia

considerando que la vía de introducción más viable es el transporte de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones. Por lo tanto, tiene la responsabilidad de cumplir las normativas establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) (Okolodkov & García-Escobar, 2014).

El Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques entró en vigor el 8 septiembre de 2017, con el objetivo general de combatir la propagación de especies acuáticas invasivas, que pueden ocasionar estragos en los ecosistemas locales, afectar a la diversidad biológica y provocar considerables pérdidas económicas. La OMI precisó que, de conformidad con los términos del convenio, se exigirá que los buques gestionen su propia agua de lastre para extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos existentes en el agua de lastre y los sedimentos, o que eviten la toma o la descarga de los mismos. Con la entrada en vigor del Convenio sobre gestión del agua de lastre no solo se reducirá el riesgo de invasiones de especies foráneas a través del agua de lastre, también se proporcionará un entorno equitativo para el transporte marítimo internacional, facilitando normas claras y sólidas para la gestión del agua de lastre de los buques, según el comunicado. En virtud de este convenio, todos los buques en tráfico internacional deben gestionar su agua de lastre y los sedimentos siguiendo determinadas normas, de conformidad con un plan específico de gestión del agua de lastre. Todos los buques también tendrán que llevar a bordo un libro registro del agua de lastre y un certificado internacional de gestión del agua de lastre (OMI, 2017).

4.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) para *Astropecten polyacanthus* en México fue de 7.0, el cual es equivalente a un riesgo Medio (Tabla 4.1, Anexo 3). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) fue de 13.0, lo que equivale a un riesgo Medio para esta especie considerando predicciones de las condiciones ambientales en México a futuro. En comparación a los resultados obtenidos para otras estrellas de mar evaluadas, esta especie obtuvo valores menores en el análisis de riesgo, sin embargo, estos resultados deben tomarse con cautela ya que hace falta mucha información sobre la biología, ecología e impacto de esta especie sobre otras especies o sectores productivos. Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron valores medios (0.67 para BRA+CCA; 0.67 para BRA y 0.67 para CCA). El nivel de afectación para los sectores comercial (4 pts) y ambiental fue bajo (2 pts) y los rasgos nocivos de la especie o población fue el mayor con un valor (12 pts).

Tabla 4.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo de la Estrella de Mar de Peine *Astropecten polyacanthus* con la herramienta AS-ISK.

| Estadísticas | |
|---|--------------|
| Calificación | |
| BRA | 7.0 |
| Resultado BRA | Medio |
| BRA+CCA | 13.0 |
| Resultado BRA+CCA | Medio |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 3.0 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 0.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 2.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 1.0 |
| B. Biología/Ecología | 4.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 5.0 |
| 5. Utilización de recursos | 0.0 |
| 6. Reproducción | 2.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 3.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | -6.0 |
| C. Cambio climático | 6.0 |
| 9. Cambio climático | 6.0 |
| Preguntas respondidas | |
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 4 |
| Ambiental | 2 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 11 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |
| BRA+CCA | 0.67 |
| BRA | 0.67 |
| CCA | 0.67 |

4.9. Resumen y conclusiones

Debido a sus características biológicas *Astropecten polyacanthus* resulta una especie de riesgo medio, ya que es de talla pequeña, restringida a zonas con fondos suaves, poco conspicua al ser una especie de hábitos crípticos (enterrada en la arena) y de la cual no se conoce el desarrollo de brotes masivos de organismos como sucede con otras especies de estrellas de mar (e.g. *Asterias amurensis* y *Acanthaster planci*). Además, no se sabe de casos donde esta especie afecte actividades comerciales o cultivos. Sin embargo, la capacidad que presenta para producir tetrodotoxina (TTX) la vuelve una especie de riesgo para la salud humana y de otras especies.

En su área de distribución original se sabe muy poco de su biología y ecología. Esto posiblemente se debe a lo difícil que resulta encontrarla, ya que pasa la mayor parte de su tiempo enterrada y porque es poco común que las actividades de buceo recreativo (de donde se obtienen muchos registros de especies) se realicen en zonas arenosas o fangosas donde este asteroideo habita.

Los registros obtenidos en la bahía de Manzanillo son escasos y no se tiene certeza de la densidad de individuos que realmente hay dentro de la bahía. Por lo tanto, establecer criterios de manejo y control resultan muy difíciles por la falta de información. En este momento no se tiene conocimiento preciso si estos registros son solo casos aislados de individuos que de manera incidental llegaron hasta México y que realmente no tienen posibilidad de proliferar en el futuro, o si ya es una especie que ha logrado adaptarse a las nuevas condiciones y dispone de los recursos necesarios para establecer poblaciones viables. En este sentido un monitoreo continuo de esta y otras especies invasoras que se han registrado en esta bahía dará pauta para tomar mejores decisiones en su control y si fuera necesario erradicación antes de que se torne un problema ecológico mayor, que ponga en riesgo poblaciones nativas o ecosistemas.

4.10. Referencias

Arakawa, O., Hwang, D. F., Taniyama, S. & Takatani, T. 2010. Toxins of Pufferfish that causes human intoxications. Pp. 227–244. En: Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea. Ishimatsu A. & Lie, H. J. (Eds). Nagasaki: TERRAPUB and Nagasaki University.

Bane, V., Lehane, M., Dikshit, M., O’Riordan, A. & Furey, A. 2014. Tetrodotoxin: chemistry, toxicity, source, distribution and detection. *Toxins* 6(2): 693-755.

Byrne, M., Rowe, F. W. E., Marsh, L. M. & Mah, C. L. 2017. Class Asteroidea. En: Byrne, M. & O’Hara, T. D. (Eds). *Australian Echinoderms: Biology, Ecology and Evolution*. CSIRO Publishing, Melbourne and ABRS, Canberra xx, 612 pp.

Chao, S. M. 1999. A revision of the family Astropectinidae (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan, with description of five new records. *Zoological Studies* 38(3): 257-267.

- Clark, A. M. & Downey, M. E.** 1992. *Starfishes of the Atlantic*. Chapman and Hall, London.
- Clark, A. M. & Rowe, F. W. E.** 1971. Monograph of shallow-water Indo-west Pacific Echinoderms. Trustees of the British Museum (Natural History). London. x + 238 p. + 30 pls.
- Colombo, L. & Belvedere, P.** 1976. Gonadal steroidogenesis in echinoderms. *General and Comparative Endocrinology* 29: 255-256.
- Döderlein, L.** 1917. Die Asteriden der Siboga-Expedition. I. Die Gattung *Astropecten* und ihre Stammesgeschichte. En: Brill, E. J. (Ed.), *Siboga-Expeditie*. Uitkomsten op zoölogisch, botanisch, ozeanographisch en geologisch gebied verzameld in Nederlandsch Oost-Indie 1899–1900 aan boord H.M. "Siboga", 46(a), Leiden, 191 pp.
- DOF.** 2004. Reglamento de la Ley de Pesca. Nuevo reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1999 (Última reforma DOF 28-01-2004). 48 pp.
- Fisher, W. K.** 1906. The starfishes of the Hawaiian Islands. *Bulletin of the United States Fish Commission* 23: 987-1130.
- Freeman, S. M., Richardson, C. A. & Seed, R.** 2001. Seasonal abundance, spatial distribution, spawning and growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53: 39-49.
- GBIF.** 2018. GBIF.org (14 August 2018) GBIF Occurrence Download https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=5186546.
- Grant, A. & Tyler, P. A.** 1986. An analysis of the reproductive pattern in the seastar *Astropecten irregularis* (Pennant) from the Bristol Channel. *International Journal of Invertebrate Reproduction and Development* 9: 345-361.
- Heddle, D.** 1967. Versatility of movement and the origin of the asteroids. Pp: 125-141. En: *Echinoderm biology*. Millott, N. (Ed). Symposia of the Zoological Society of London 20.
- Hellal, A. M., Gab-Alla, A. A. F., Mohamed, S. Z. & Morsy, N. K.** 2012. Reproductive strategy of the common star fish, *Astropecten polyacanthus* (Echinodermata: Asteroidea) from Suez Canal Lakes, Egypt. *Egypt Journal of Aquatic Biology & Fisheries* 16(4): 113-128.
- Hörstadius, S.** 1938. Über die Entwicklung von *Astropecten aranciacus* L. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica Napoli* 17: 221-312.
- Humphreys, W.** 1981. The echinoderms of Kenya's marine parks and adjacent regions. *Musée Royal de L'Afrique Centrale, Tervuren, Belgium: Documentation Zoologique* 19: 1-39.
- Jangoux, M.** 1982. Food and feeding mechanisms: Asteroidea. Pp. 117-279. En: *Echinoderm Nutrition*. Jangoux, M. & Lawrence, J. M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- Maruyama, J., Noguchi, T., Jeon, J. K., Yamazaki, K. & Hashimoto, K.** 1983. Another occurrence of Tetrodotoxin in a Trumpet Shell *Charonia sauliae*. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan* 24: 465-468.

- Miyazawa, K., Noguchi, T., Maruyama, J., Jeon, J. K., Otsuka, M. & Hashimoto, K.** 1985. Occurrence of tetrodotoxin in the starfishes *Astropecten polyacanthus* and *A. scoparius* in the Seto Inland Sea. *Marine Biology* 90(1): 61-64.
- Narita, H., Noguchi, T., Maruyama, J., Ueda, Y., Hashimoto, K., Watanabe, Y. & Hida, K.** 1981. Occurrence of Tetrodotoxin in a Trumpet Shell, "Boshubora" *Charonia sauliae*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 47(7): 935-941.
- Noguchi, T. & Arakawa, O.** 2008. Tetrodotoxin--distribution and accumulation in aquatic organisms, and cases of human intoxication. *Marine Drugs* 6(2): 220-242.
- Noguchi, T., Onuki, K. & Arakawa, O.** 2011. Tetrodotoxin poisoning due to Pufferfish and Gastropods, and their intoxication mechanism. *ISRN Toxicology* 2011: 276939.
- Noguchi, T., Narita, H., Maruyama, J. & Hashimoto, K.** 1982. Tetrodotoxin in the starfish *Astropecten polyacanthus*; in association with toxification of a trumpet shell, "boshubora" *Charonia sauliae*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 48: 1173-1177.
- Nojima, S.** 1983. Ecological studies on the sea star *Astropecten latespinosus* (M.) V. Pattern of spatial distribution and seasonal migration with special reference to spawning aggregation. *Publications of the Amakusa Marine Biological Laboratory* 7: 1-16.
- Okolodkov, Y. B. & García-Escobar, H.** 2014. Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectivas para México. Pp. 55-79. En: Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México. Low-Pfeng, A. M., Quijón, P. A. & Peters-Recagno, E. M. SEMARNAT, INECC, México.
- Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, R., Ibáñez-Aguirre, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. & Gutiérrez-Mendieta, F. J.** 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* 11(32): 29-67.
- OMI.** 2017. The GloBallast Story: Reflections from a Global Family. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme. GloBallast Monograph No. 25. 92 pp.
- Robertson, D. R. & Allen, G. R.** 2016. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: App de Guía de identificación, versión 3.0. Smithsonian Tropical Research Institute.
- Rowe, F. W. E. & Gates, J.** 1995. Echinodermata. Pp: 1-510. En: Zoological catalogue of Australia. Wells, A. (Ed). Vol. 33, Melbourne: CSIRO, Australia.
- Schoppe, S.** 2000. A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp.
- Ventura, C. R. R.** 2013. *Astropecten*. Pp: 101-108. En: Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. Lawrence, J. M. (Ed). The Johns Hopkins University Press.
- Walker, C. W.** 1982. Nutrition of gametes. Pp: 161-181. En: Echinoderms Nutrition. Jangoux, M. & Lawrence, J. M. (Eds). Balkema, Rotterdam.

Zulliger, D. E. 2009. Phylogeography, evolutionary history and genetic diversity of sea stars of the genus *astropecten* and genetic structure within the Atlanto-Mediterranean species *A. aranciacus*. University of Zurich, Faculty of Science.

Zulliger, D. E. & Lessios, H. A. 2010. Phylogenetic relationships in the genus *Astropecten* (Paxillosida: Astropectinidae) on a global scale: molecular evidence for morphological convergence, species complexes and possible cryptic speciation. *Zootaxa* 2504: 1-19.

5.1. Análisis de riesgo de la estrella de mar Magnífica *Luidia magnifica* (Echinodermata: Luidiidae)

La familia Luidiidae está integrada solo por el género *Luidia* y alrededor de 49 especies válidas (Mah, 2018). Las especies del género *Luidia* presentan una distribución cosmopolita y se caracterizan por tener brazos largos con puntas puntiagudas bordeadas por espinas. Es un género cuyas especies viven generalmente en aguas superficiales, sobre fondos arenosos y lodosos. Sus representantes son por lo general más activos y más ágiles que otros asteroideos; se alimentan fundamentalmente de otros equinodermos y de moluscos pequeños. Las gónadas están debajo de los lados de cada brazo, sin embargo, puede producirse clonación de larvas mediante reproducción asexual (Lawrence, 2013).

Luidia magnifica es una estrella de mar muy característica por su tamaño (hasta 80 cm) que se distribuye en el Pacífico central desde Filipinas hasta las islas de Hawái (Lawrence, 2013) (Figura 14). Previamente a este informe esta especie no se había reportado como especie invasora. Sin embargo, en 2017 durante un buceo recreativo se hicieron avistamientos de varios ejemplares de la estrella de mar Magnífica en Manzanillo, Colima, México (Galván-Villa obs. pers.), por lo que es la primera vez que se observa fuera de su área de distribución original generando una alerta en la comunidad científica debido a los posibles impactos que se pudieran generar a las comunidades naturales y los propios ecosistemas costeros del Pacífico mexicano.



Figura 14. Estrella de Mar Magnífica *Luidia magnifica*. Fotografía: Cristian Galván.

5.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Echinodermata Brugière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Asterozoa ND

Clase Asteroidea de Blainville, 1830

Superorden Valvatacea Blake, 1987

Orden Paxillosida Perrier, 1884

Familia Luidiidae Sladen, 1889

Género *Luidia* Forbes, 1839

Luidia magnifica Fisher, 1906

Nombres comunes⁴:

Estrella de Mar Magnífica (español)

Magnificent star (inglés)

b. Descripción

Esta estrella de mar se caracteriza por presentar un cuerpo aplanado, nueve brazos largos y estrechos (raramente 8 o 10 e inusualmente 11). Los rayos son muy alargados en proporción al disco y están bordeados por espinas. La superficie superior está cubierta con paxilas, espinas en forma de pilares con extremos truncados (Fisher, 1906). También hay paxilas en los márgenes de la parte inferior y varias filas de pies de tubo que bajan por el centro de cada brazo. El color es variable, algunas veces es amarillo cremoso con bandas de puntos rojos, otros especímenes son más oscuros en diferentes tonos de marrón, anaranjado y oliva. Los pies ambulacrales son de color naranja brillante en la parte inferior. La estrella Magnífica puede crecer hasta un gran tamaño, alcanzando un radio mayor (R) igual a 38 cm, siendo una de las estrellas de mar más grandes del mundo (Downey & Wellington, 1978). Un caso extraordinario es un espécimen que se encontró en el atolón de Pearl and Hermes, Hawái, que alcanzo una talla de 84 centímetros (33 pulgadas) de diámetro (Galtsoff, 1933).

c. Biología e historia natural

Se tiene poca información sobre la biología de esta estrella de mar. Al igual que otros miembros del género *Luidia*, *L. magnifica* es un depredador oportunista de la macrofauna asociada a fondos suaves (Lawrence, 2013). Se encuentra en zonas arenosas de entre 18 y 133 metros (Lane *et al.*, 2000; Schoppe, 2000). La punta redondeada o puntiaguda de sus brazos está adaptada para empujar entre las partículas del sustrato y contribuir a un movimiento eficiente en la superficie y para que la ampolla bilobulada produzca una mayor

⁴ Hoover, 1999.

turgencia de los pies ambulacrales (Heddle, 1967). Otras especies del mismo género se favorecen con una dieta de moluscos bivalvos y equinoides, aunque su dieta puede ser mucha más amplia con prácticamente cualquier tipo de invertebrado. En Hawái se alimenta principalmente de otros equinodermos como corazones de mar y otras estrellas de mar (Hoover, 1999). En lugar de evertir el estómago esta estrella abre su boca e ingiere su presa entera. *Luidia magnifica* puede moverse rápidamente a través de los fondos suaves. Se traga sus presas engulléndolas en su totalidad, los digiere en sus dos estómagos y procesa aún más los restos en la caeca pilórica en la base de sus brazos. Luego expulsa cualquier material no digerido a través de su ano (Jangoux, 1982).

d. Comportamiento colonial/conducta

La estrella de mar *Luidia magnifica* es un depredador activo, el cual se encuentra enterrado en la arena durante el día y por la noche sale en busca de alimento. Se ha visto que inicia su actividad justo después del atardecer. Al igual que otras especies del mismo género, se desplaza rápidamente con sus brazos en busca de presas. En la bahía de Manzanillo se ha observado que son organismos solitarios, aunque se mantienen en un área cercana con otros individuos (Galván-Villa obs. pers.).

e. Estatus

La estrella de mar *L. magnifica* se distribuye de manera natural en el Pacífico central (Figura 15). Se tienen registros en Filipinas y las islas de Hawái. También se ha reportado en Tailandia, la Polinesia Francesa y existe un registro de esta especie en Madagascar (GBIF, 2018). A pesar de que la especie fue descrita desde 1906 a partir de un ejemplar colectado en la costa sur de la isla Molokai (Fisher, 1906), desde entonces solo se tienen 14 registros a nivel mundial, dos de estos registros corresponden a observaciones y el resto a especímenes preservados (GBIF, 2018). Históricamente se tienen muy pocos registros a nivel mundial de esta especie (Figura 16).

Como especie invasora solo se ha encontrado en Manzanillo, Colima en el Pacífico mexicano (Galván-Villa obs. pers.).

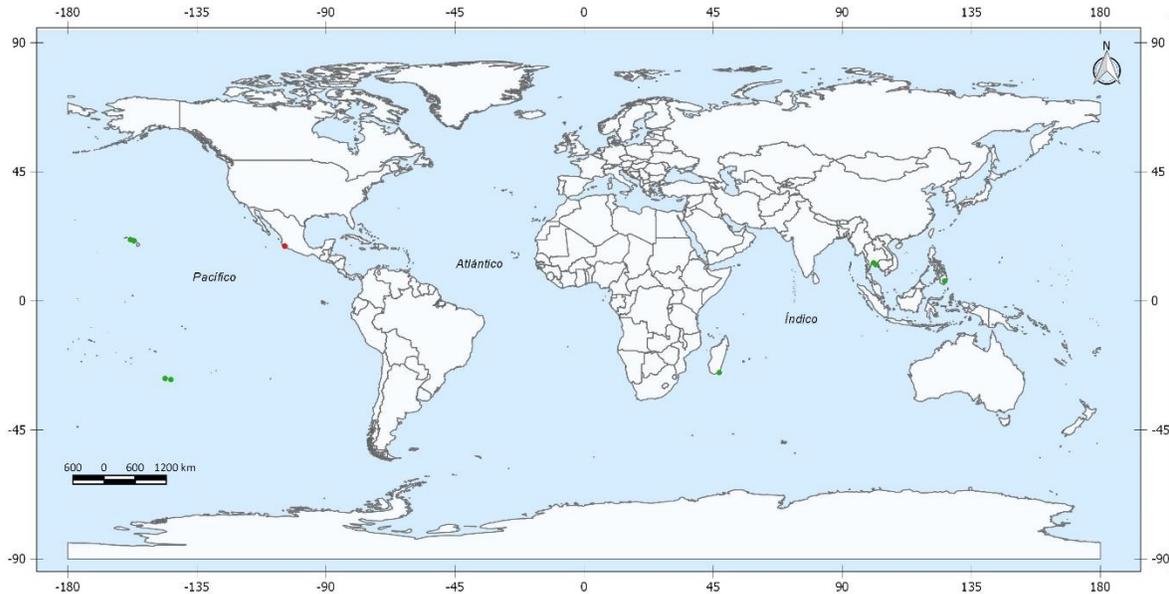


Figura 15. Distribución mundial de *Luidia magnifica*. Puntos verdes: nativa; puntos rojos: invasora. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

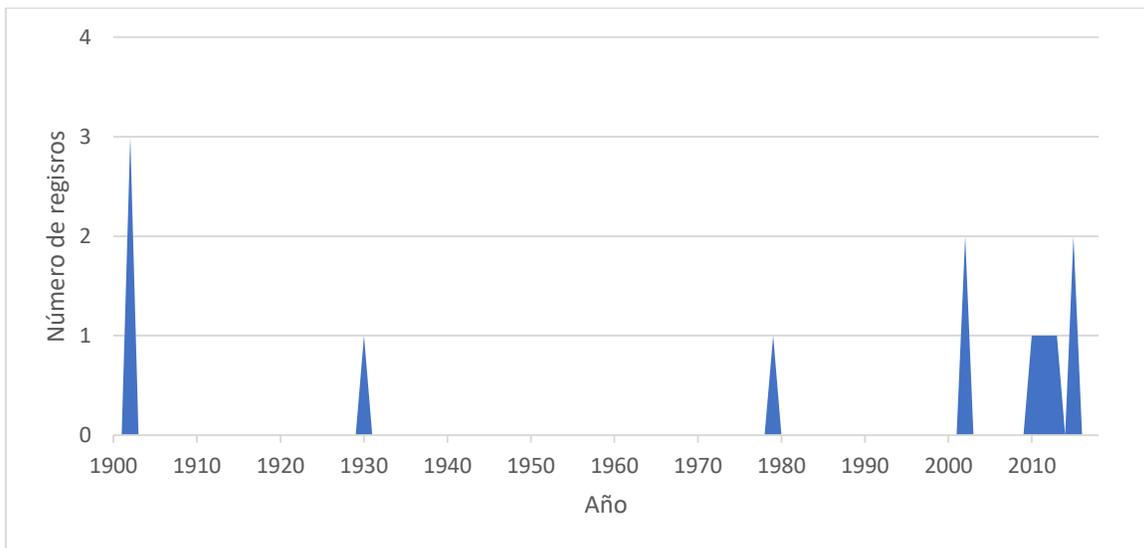


Figura 16. Ocurrencias de *Luidia magnifica* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

5.3. Rutas de introducción

En el Mundo

No hay información disponible sobre sus rutas de introducción o dispersión.

En México

No se tiene información sobre el vector de introducción de esta especie a México. Es posible que algunas larvas hayan sido transportadas en el agua de lastre de embarcaciones que llegan al puerto de Manzanillo, Colima provenientes del Pacífico occidental o las islas de Hawái. La posibilidad de que esta especie haya sido introducida como fauna adherida a los cascos de los barcos (*fouling*) es muy baja debido a su tamaño y a que sus pies ambulacrales, aunque tiene un grado de adhesión, estos no proveen suficiente área de sujeción, como lo hacen los pies ambulacrales con discos (Lawrence, 2013).

5.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

Desconocido.

b. Potencial de dispersión

Desconocido.

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Factores físicos

Los sustratos suaves que dominan en la bahía de Manzanillo ofrecen el sustrato idóneo para el establecimiento y desarrollo de *L. magnifica*. Es una estrella que se encuentra en fondos arenosos en los cuales puede desplazarse con facilidad para encontrar su alimento (Hoover, 1999). En la bahía de Manzanillo se ha observado en una zona de la bahía compuesta de fondos de arena fina y media, donde son abundantes diferentes especies de erizos irregulares (Echinoidea) llamados comúnmente corazones de mar (i.e. *Agassizia scrobiculata*, *Metalia spatangus*, *Brissus obesus*, *Plagiobrissus pacificus*, *Rhyncholampas pacificus*), de los cuales posiblemente se alimenta (Galván-Villa *et al.*, 2018).

Factores biológicos

Los principales factores biológicos que pueden favorecer el establecimiento y dispersión de *Luidia magnifica* en el Pacífico mexicano son la alta disponibilidad de alimento, ya que puede encontrar una amplia variedad de presas en los fondos arenosos. La falta de especies que compitan con ella por espacio o alimento, esto principalmente por la talla que puede llegar a alcanzar (hasta 38 cm de radio mayor). En el Pacífico mexicano se encuentran otras 10 especies de luidias (Solís-Marín *et al.*, 2005; Honey-Escandón *et al.*, 2008); sin embargo, ninguna de estas llega a ser tan grande; *Luidia superba* puede llegar a medir R= 26.2 cm siendo la *Luidia* más grande en el Pacífico de México. La ausencia de depredadores naturales puede ser otro factor importante para lograr su establecimiento, al ser una especie de hábitos nocturnos reduce las posibilidades de ser depredada por peces, además la presencia de pedicelarios resulta ser un mecanismo de defensa muy efectivo para varias especies de estrellas de mar (Campbell, 1983).

Factores humanos

No se tiene información sobre factores humanos que favorezcan su establecimiento o dispersión.

d. Historia de introducción en México

Esta especie solo se ha observado dentro de la bahía de Manzanillo, Colima (Galván-Villa obs. pers.) (Figura 17). Es posible que su introducción al Pacífico mexicano haya sido por medio del transporte de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto provenientes del Indo-Pacífico. Se requieren estudios científicos para determinar el origen de estos organismos y si estos constituyen una población establecida y en crecimiento dentro de la bahía.

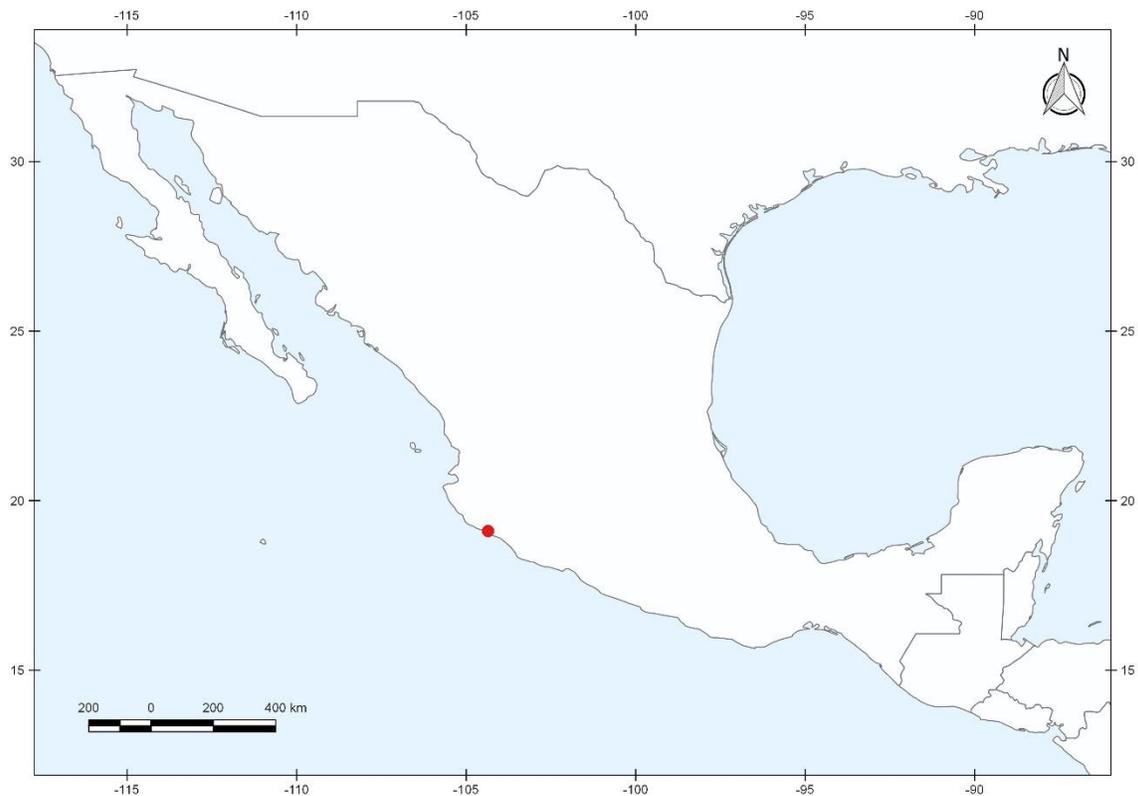


Figura 17. Distribución de *Luidia magnifica* en México. Fuente: Ivonne García Quezada.

5.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

No se conocen impactos a la salud humana.

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

Aunque es considerada una especie altamente depredadora y de gran tamaño, no se tienen reportes de impactos al ambiente o la biodiversidad. Por otro lado, esta estrella de mar puede ser vector de parásitos como el gusano poliqueto *Ophiodromus pugettensis*, el cual

se distribuye desde el sur de Seattle, EUA hasta el oeste de México y Golfo de California (Storch & Rosito, 1981). Esta especie de poliqueto es considerada como una especie errante esclerobionte (organismos asociados a cualquier tipo de sustrato duro) en los puertos marítimos, lo que le permite colonizar nuevos lugares (Vilalobos-Guerrero & Tovar-Hernández, 2014). Los impactos de este gusano no se conocen.

iii. Impactos a actividades productivas

No existen reportes de impactos generados por la presencia de la estrella *L. magnifica* a actividades productivas.

iv. Impactos económicos

No se tiene información sobre impactos económicos.

v. Otros impactos

Ninguno.

5.6. Control y mitigación

No existen medidas de control o mitigación por la introducción o la presencia de *L. magnifica*.

5.7. Normatividad

A nivel internacional no existen regulaciones que consideren a esta especie.

Aunque en México no se cuenta con una normatividad específica que regule la introducción de especies marinas no nativas transportadas en formas larvales en el agua de lastre o como juveniles y adultos en los cascos de las embarcaciones (Okolodkov *et al.*, 2007), es uno de los países firmantes del Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (Convenio BWM) (OMI, 2017).

Esto es de gran relevancia considerando que la vía de introducción más viable para esta especie es el transporte de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones. Por lo tanto, se tiene la responsabilidad de cumplir las normativas establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) (Okolodkov & García-Escobar, 2014). En este convenio (BWM), se exige que los buques gestionen su propia agua de lastre para extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos existentes en el agua de lastre y los sedimentos, o que eviten la toma o la descarga de los mismos. En virtud de este convenio, todos los buques en tráfico internacional deben gestionar su agua de lastre y los sedimentos siguiendo determinadas normas, de conformidad con un plan específico de gestión del agua de lastre. Todos los buques también tendrán que llevar a bordo un libro registro del agua de lastre y un certificado internacional de gestión del agua de lastre (OMI, 2017).

5.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) con la herramienta AS-ISK para *Luidia magnifica* en México fue de 6.0, el cual es equivalente a un riesgo Medio (Tabla 5.1., Anexo 4). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) fue de 18.0, lo que equivale a un riesgo Medio para esta especie considerando predicciones de las condiciones ambientales en la región del Pacífico mexicano a futuro. Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron medios (0.55 para BRA+CCA, 0.55 para BRA y 0.50 para CCA), esto debido a la falta de información biológica y ecológica sobre esta especie. El nivel de afectación para el sector comercial es de 5 pts, para el ambiental es de 6 pts y para los rasgos nocivos de la especie o población fue de 11 pts.

Tabla 5.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo de la Estrella de Mar Magnifica *Luidia magnifica* con la herramienta AS-ISK.

| Estadísticas | |
|---|--------------|
| Calificación | |
| BRA | 6.0 |
| Resultado BRA | Medio |
| BRA+CCA | 18.0 |
| Resultado BRA+CCA | Medio |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 2.0 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 0.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 1.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 1.0 |
| B. Biología/Ecología | 4.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 7.0 |
| 5. Utilización de recursos | 0.0 |
| 6. Reproducción | 0.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 1.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | -4.0 |
| C. Cambio climático | 12.0 |
| 9. Cambio climático | 12.0 |
| Preguntas respondidas | |
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |

| | |
|---|-------------|
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 5 |
| Ambiental | 6 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 10 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |
| BRA+CCA | 0.55 |
| BRA | 0.55 |
| CCA | 0.50 |

5.9. Resumen y conclusiones

Existe escasa información sobre la biología de *Luidia magnifica*. Esta falta de información se presenta incluso en el área donde es nativa. Son necesarios estudios de sus poblaciones naturales, ya que se desconoce su estado actual y su dinámica. A pesar de ser una especie fácil de reconocer por su tamaño, número de brazos y patrón de coloración, existen muy pocos registros en su área de distribución original. Sus hábitos nocturnos, poblaciones naturalmente pequeñas (especie rara) y mecanismos en la dinámica de las comunidades donde originalmente se distribuye (e.g. depredadores o competidores naturales) pueden ser factores que influyen en los pocos registros que se tienen a nivel mundial. Sin embargo, las condiciones ambientales y ecológicas en el Pacífico mexicano pueden favorecer un crecimiento alto de su población, generando con esto una alteración en las redes tróficas y dinámica costera que puede afectar a especies nativas y recursos importantes para la región.

Debido a la falta de información biológica de la especie, los impactos que puede causar y las estrategias de manejo son difíciles de establecer. Al igual que *Astropecten polyacanthus* recientemente observado en la bahía de Manzanillo, Colima se sugiere un monitoreo continuo para establecer con mayor claridad el estado actual de la población de *L. magnifica* en la costa de México y tener información base para establecer las estrategias de control y manejo de esta especie antes de que se genere un impacto a las comunidades naturales.

5.10. Referencias

Campbell, A. C. 1983. Form and function of pedicellariae. Pp: 139-167. En: *Echinoderm Studies*. Lawrence, J. M. & Jangoux, M. (Eds). A. A. Balkema Press, Rotterdam, Vol 1.

Downey, M. E. & Wellington, G. M. 1978. Rediscovery of the giant sea-star *Luidia superba* A.H. Clark in the Galapagos Islands. *Bulletin of Marine Science* 28(2): 375-376.

Fisher, W. K. 1906. The starfishes of the Hawaiian Islands. *Bulletin of the United States Fish Commission* 23: 987-1130.

Galtsoff, P. S. 1933. Pearl and Hermes reef, Hawaii, hydrographical and biological observations. *Bernice P Bishop Museum*. p. 19.

Galván-Villa, C. M., Rubio-Barbosa, E. & Martínez-Melo, A. 2018. Riqueza y distribución de equinoideos irregulares (Echinoidea: Cassiduloidea, Clypeasteroidea, Holasteroidea y Spatangoida) del Pacífico central mexicano. *Hidrobiológica* 28(1): 83-91.

GBIF. 2018. GBIF Occurrence Download. Consultado el 12/12/2028 https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2270598

Heddle, D. 1967. Versatility of movement and the origin of the asteroids. Pp- 125-141. En: *Echinoderm Biology*. Millott, N. (Ed). Symposia of the Zoological Society of London 20.

Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl. 3): 57-73.

Hoover, J. P. 1999. *Hawai'i's sea creatures: a guide to hawai'i's marine invertebrates*. Mutual publishing, 366 pp.

Jangoux, M. 1982. Food and feeding mechanisms: Asteroidea. Pp. 117-279. En: *Echinoderm Nutrition*. Jangoux, M. & Lawrence, J.M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

Lane, D. J. W., Marsh, L. M., VandenSpiegel, D. & Rowe, F. W. E. 2000. Echinoderm fauna of the South China Sea: an inventory and analysis of distribution patterns. *The Raffles Bulletin of Zoology* 8: 459-493.

Lawrence, J. M. 2013. *Luidia*. En: Lawrence, J. M. (Ed). *Asteroidea: Biology and Ecology of Starfish*. Johns Hopkins University Press: Baltimore. pp. 110-119.

Mah, C. L. 2018. World Asteroidea Database. *Luidia* Forbes, 1839. Consultado en: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=123260>. Consultado el 13/12/2018.

Lawrence, J. M. 2013. *Luidia*. Pp: 109-119. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). The Johns Hopkins University Press.

Okolodkov, Y. B. & García-Escobar, H. 2014. Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectivas para México. Pp. 55-79. En: *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*. Low-Pfeng, A. M., Quijón, P. A. & Peters-Recagno, E. M. SEMARNAT, INECC, México.

Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, R., Ibáñez-Aguirre, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. & Gutiérrez-Mendieta, F. J. 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* 11(32): 29-67.

OMI. 2017. The GloBallast Story: Reflections from a Global Family. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme. GloBallast Monograph No. 25. 92 pp.

Schoppe, S. 2000. *A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines.* Times Media Private Limited, Singapore. 144 p.

Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Ahearn, C. G. & Vega, J. T. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl. 3): 123-137.

Storch, V. & Rosito, R. M. 1981. Polychaetes from interespe-cific associations found off Cebu. *The Philippine Scientist* 18: 1-9.

Villalobos-Guerrero, T. F. & Tovar-Hernández, M. A. 2014. Poliquetos errantes (Polychaeta: Errantia) esclerobiontes del Puerto de Mazatlán, Sinaloa (México). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 43(1): 43-87.

6.1. Análisis de riesgo de la Estrella Quebradiza *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiactidae)

Ophiactis savignyi es considerada la estrella quebradiza más común y ampliamente distribuida en el mundo (Figura 18). Se describió por primera vez en el Mar Rojo en 1842 y luego se descubrió que estaba ampliamente distribuida en los océanos tropical y subtropical de la India, el Pacífico y el Atlántico. Su distribución global y su estado de introducción temprana hacen que sea difícil determinar su región nativa. Se ha tratado a *O. savignyi* como nativa del Indo-Pacífico, desde Japón hasta el Mar Rojo, Sudáfrica y la Polinesia Francesa. Más al Oeste en el Pacífico, se le llega a considerar como criptogénica; se extiende desde California hasta Perú, y también ocurre en Hawái, las Islas Galápagos y la Isla de Pascua. Se ha encontrado que los especímenes del Atlántico (de Florida, Bermudas y la costa caribeña de Panamá) son idénticos a sus contrapartes del Indo-Pacífico (de Filipinas, Sri Lanka, Rarotonga y Samoa), por lo que se puede llegar a considerar que se han introducido (Hendler *et al.*, 1995). También se ha introducido en el Mediterráneo (Galil, 2007). Habita en las comunidades de incrustaciones marinas, especialmente en esponjas, y se ha encontrado en los cascos, boyas y estructuras marinas de los barcos. Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transportarse en el agua de lastre. Además de la reproducción sexual, puede reproducirse asexualmente por fisión, lo que es una ventaja para colonizar nuevos lugares donde la posibilidad de fertilización es baja (McGovern, 2002). No se han reportado impactos para esta especie, pero puede alcanzar densidades muy altas en algunos lugares.



Figura 18. Estrella quebradiza *Ophiactis savignyi*. Fotografía: Cristian Galván.

6.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Echinodermata Brugière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Asterozoa ND

Clase Ophiuroidea Gray, 1840

Subclase Myophiuroidea Matsumoto, 1915

Infraclase Metophiurida Matsumoto, 1913

Superorden Ophintegrida O'Hara, Hugail, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017

Orden Amphilepidida O'Hara, Hugail, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017

Superfamilia Ophiactoidea Ljungman, 1867

Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915

Género *Ophiactis* Lütken, 1856

Ophiactis savignyi (Müller & Troschel, 1842)

Sinonimias:

Ophiactis brocki de Loriol, 1893

Ophiactis conferta Koehler, 1905

Ophiactis incisa v. Martens, 1870

Ophiactis krebsii Lütken, 1856

Ophiactis maculosa von Martens, 1870

Ophiactis reinhardti Lütken, 1859

Ophiactis reinhardtii Lütken, 1859

Ophiactis savignyi var. *lutea* H.L. Clark, 1938

Ophiactis sexradia (Grube, 1857)

Ophiactis versicolor H.L. Clark, 1939

Ophiactis virescens Lütken, 1856

Ophiolepis savignyi Müller & Troschel, 1842

Ophiolepis sexradia Grube, 1857

Nombres comunes⁵:

Brittle star (inglés)

⁵ Roy y Sponer, 2002.

b. Descripción

Disco redondeado (dd = 1.1 a 5 mm) y cubierto por escamas grandes imbricadas y espinas cortas y dispersas en el borde del disco. Escudos radiales grandes, triangulares y que se unen distalmente. Interradio ventral con escamas y espinas dispersas. Escudos orales en forma de diamante con bordes redondeados. Escudos aborales pequeños, que no se encuentran proximalmente. Las espinas del disco son más largas y separadas que las de *O. simplex*. Dos papilas orales aplanadas en cada lado de la mandíbula. Cinco o seis brazos. Placas del brazo dorsal más anchas que largas con bordes redondeados. Placas ventrales de los brazos cuadrangulares con bordes redondeados. De cinco a seis espinas cortas, rugosas y espinosas. Escamas de los tentáculos únicas, redondeadas y lanceoladas. Color del disco verde oliva verde pardo, con bandas radiales más oscuras. Porción ventral de color crema (Nielsen, 1932; Granja-Fernández *et al.*, 2014).

c. Biología e historia natural

Ophiactis savignyi se puede encontrar en una variedad de hábitats que incluyen costas rocosas, algas, manglares, corales, corales muertos, rodolitos, en el interior de esponjas, muelles y cascos de botes (Hendler *et al.*, 1995; Roy & Sponer, 2002; McGovern, 2003). Puede encontrarse en las comunidades de incrustaciones marinas, especialmente esponjas, y se ha encontrado con frecuencia en los cascos de los barcos, las boyas y las estructuras marinas. Gondim *et al.* (2008) observaron que pueden vivir permanentemente en comunidades de algas, en las cuales se encontraron varias etapas de vida. Se alimenta de detritos, foraminíferos y algunos pequeños invertebrados bentónicos.

Es una ofiura que se reproduce sexualmente, emitiendo óvulos y espermatozoides, pero también puede reproducirse asexualmente por fisión. Los animales que habitan en esponjas tienden a ser de un solo sexo, dominados por animales inmaduros, y parecen depender de la reproducción asexual. Parece haber un intercambio entre la reproducción sexual y asexual, siendo más probable la reproducción asexual en poblaciones con una menor probabilidad de fertilización. Los machos son más propensos a dividirse que las hembras, que tienen más probabilidades de perder sus gónadas después de la fisión, lo que resulta en una proporción de sexos sesgada (McGovern, 2002, 2003). Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transporte de agua de lastre (Roy & Sponer, 2002).

Esta pequeña especie es una de las más abundantes en los arrecifes de coral del Pacífico mexicano. Emson y Wilkie (1984) sugirieron que la reproducción sexual y asexual es importante para la abundancia y distribución de *Ophiactis savignyi*; pequeñas poblaciones de esta ofiura pueden aumentar por reproducción sexual. *Ophiactis savignyi* es una especie bien estudiada; hay numerosos trabajos sobre su reproducción (e.g. Emson & Wilkie, 1984; Hendler, 1991; Chao & Tsai, 1995; McGovern, 2002), alimentación (e.g. Boffi, 1972; Mladenov & Emson, 1988; Emson & Mladenov, 1992) y hábitat (e.g. Boffi, 1972; Hendler & Littman, 1986; Neves *et al.*, 2007).

d. Comportamiento colonial/conducta

Se distribuye desde la zona intermareal hasta los 518 m (Pineda-Enríquez, 2011). Los individuos de *O. savignyi* se enredan sujetándose a una amplia variedad de animales y plantas, a los que se adhieren usando las espinas de sus brazos que se encuentran minuciosamente dentadas (Hendler *et al.*, 1995).

e. Estatus

Es una especie cosmopolita, que habita regiones tropicales y subtropicales (Hickman, 1998) (Figura 19). A través del Indo Pacífico, Pacífico Este y ambos lados del Atlántico. Se ha tratado a *O. savignyi* como una especie nativa del Indo-Pacífico, que se distribuye desde Japón hasta el Mar Rojo, Sudáfrica y la Polinesia Francesa (Matsumoto, 1915). Frente a la costa Este de América, está reportada en Carolina del Sur y Bermudas, a través del Caribe y el Golfo de México (Hendler *et al.*, 1995). Más al oeste en el Pacífico, donde se considera criptogénica (*i.e.* que no se tiene claro si es nativa o invasora), se extiende desde California hasta Perú, y también ocurre en Hawái, las Islas Galápagos y la Isla de Pascua (Fofonoff *et al.*, 2018).

Roy & Sponer (2002) encontraron que la mayoría de los especímenes del Atlántico que examinaron, incluidos muchos del Indo-Pacífico y el Atlántico, podrían dividirse en dos linajes, A y B. Especímenes del Atlántico del linaje B (de Florida, Bermudas y la costa caribeña de Panamá) eran idénticas a sus contrapartes del Indo-Pacífico (de Filipinas, Sri Lanka, Rarotonga y Samoa), y eran muy distintas del linaje A. Consideraron la posibilidad de una invasión natural alrededor de África, desde el Océano Índico, pero concluyó que la dispersión por corrientes no era probable, porque esta especie no sobreviviría a las aguas frías de la corriente de Benguela. El grado de similitud genético en un rango muy amplio apoyó una reciente invasión antropogénica para el linaje B. El linaje A, encontrado desde Bermudas y Florida a Brasil, no se encontró en las muestras del Indo-Pacífico, pero no se pudo excluir su aparición allí, por lo que debe considerarse criptogénica en el Atlántico (Roy & Sponer, 2002). Clark (1919), sugirió que *O. savignyi* se introdujo en el Atlántico antes de mediados del siglo XIX (Figura 20).

Ophiactis savignyi se considera un invasor reciente en el Mediterráneo (Katsanevakis *et al.*, 2009; Amor *et al.*, 2016), que aparentemente colonizó esta región a través del Canal de Suez, llegando a Israel en 1948 (Galil, 2007). En el Mediterráneo, se conoce desde 1969 en la región de Banyuls-sur-Mer, Francia (Guille, 1969) y desde 1994 en el mar Egeo (Pancuci-Papadopoulou *et al.*, 2005). También se ha encontrado en el Atlántico este en Madeira (de Jesús & Abreu, 1998) y en el Archipiélago de San Pedro y San Pablo (Barboza *et al.*, 2015).

En el Pacífico oriental tropical se encuentra desde la Bahía San Pedro, California, E.U.A. hasta Panamá (Ziesenhenné, 1937). Dentro del Golfo de California se ha reportado en Bahía de Mazatlán, Sinaloa (Caso *et al.*, 1996); Isla Espíritu Santo, Ensenada de La Paz y Costa oriental de la Bahía de La Paz, Baja California Sur (Solís-Marín *et al.*, 1997). Bahía Agua Verde, Bahía Concepción, Bahía Ventana, Isla Ballena, Isla Cerralvo, Isla del Carmen, Isla San José, Punta San Marcial, Bajo de Catalana, Puerto Escondido, Las Ánimas, Bajo de Marisla y Bajo de San Dieguito (Pineda-Enríquez, 2011).

Se encuentra en Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Islas Marías, Jalisco, Colima, Islas Revillagigedo, Michoacán, Guerrero, Oaxaca (Honey-Escandón *et al.*, 2008; Ríos-Jara *et al.*, 2008; Ríos-Jara *et al.*, 2013); Parque Nacional Marino Ballena, Costa Rica, Océano Pacífico (Alvarado & Fernández, 2005); El Salvador (Barraza & Hasbún, 2005); Ensenada de Utría, Bahía de Málaga, Isla Gorgona, Isla Malpelo (Neira & Cantera, 2005; Cohen *et al.*, 2009).

En el Golfo de México se localiza desde Veracruz hasta Tabasco y en el Mar Caribe (Durán-González *et al.*, 2005; Laguarda-Figueras *et al.*, 2005; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Hernández-Herrejón *et al.*, 2008).

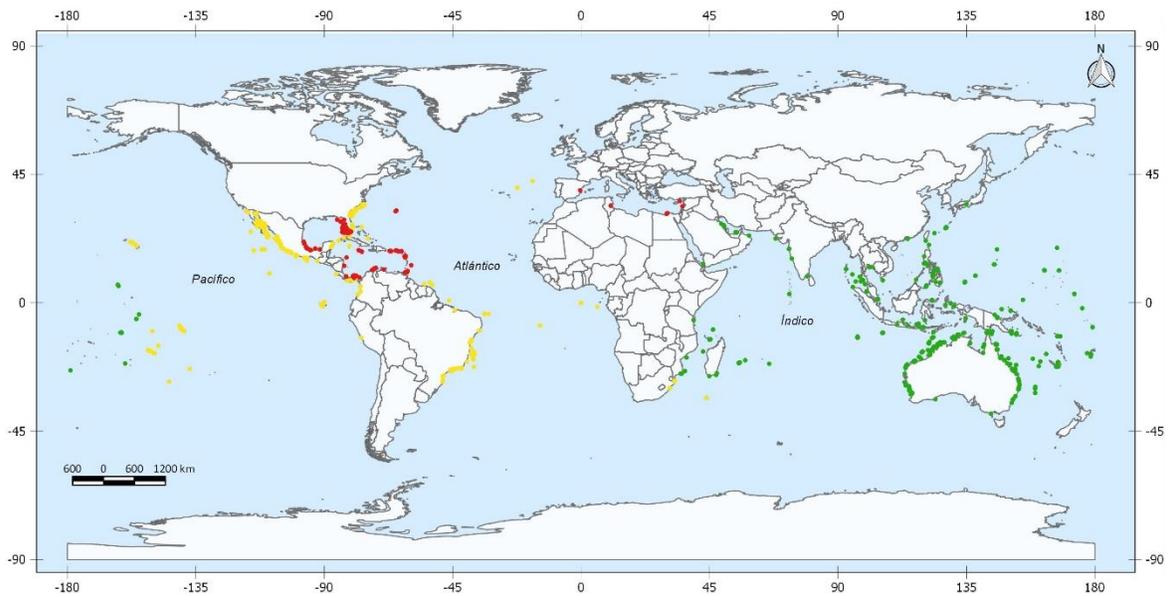


Figura 19. Distribución mundial de *Ophiactis savignyi*. Puntos verdes: distribución nativa; puntos rojos: distribución invasora; puntos amarillos: criptogénica. Información obtenida de Fofonoff *et al.* (2018) y GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

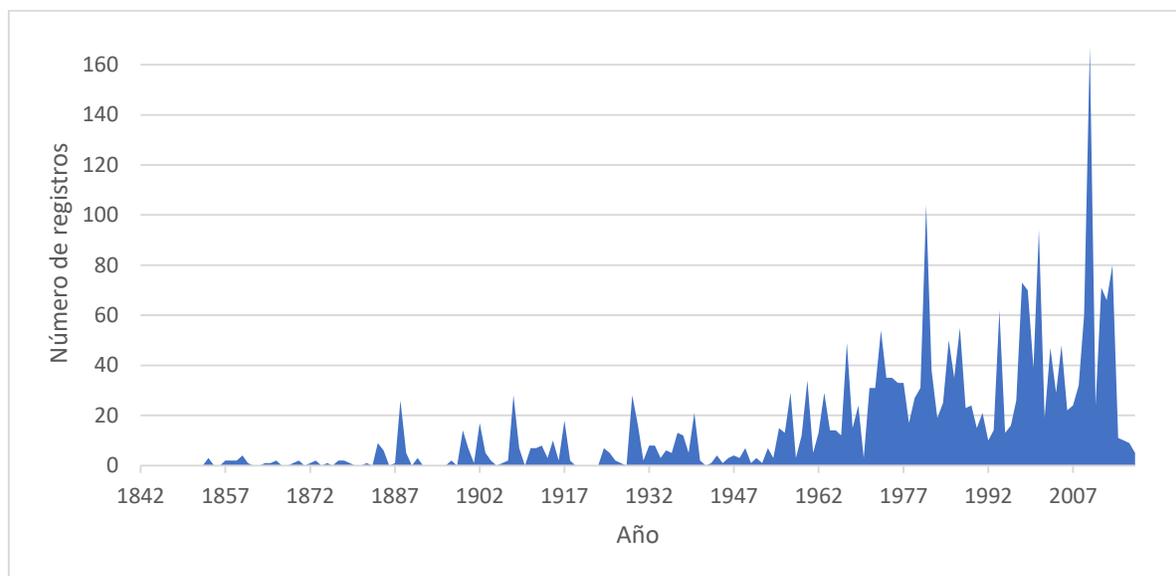


Figura 20. Ocurrencias de *Ophiactis savignyi* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

6.3. Rutas de introducción

En el Mundo

Clark (1919) y Hendler *et al.* (1999) supusieron que la amplia distribución de *O. savignyi* es probablemente "artificial", porque los individuos pueden ser transportados en balsas o transportados en el casco de los buques. Su especulación sobre su modo de dispersión se ve corroborada por los registros de *O. savignyi* en la comunidad de incrustaciones en un muelle flotante que fue remolcado desde Hawái hasta Guam, y en los cascos de las barcazas y remolcadores interinsulares hawaianos (DeFelice, 1999; Paulay *et al.*, 2002; Godwin *et al.*, 2004). Los diversos materiales flotantes o desechos (e.g. plásticos, trozos de madera, redes, etc.) son reconocidos como vectores de diversas especies, provocando invasiones biológicas en diversas regiones del mundo (Rech *et al.*, 2016). Aunque aun no se ha confirmado que *O. savignyi* se haya dispersado por este medio, debido a sus características biológicas como talla pequeña, alta capacidad de sujeción por medio de sus brazos y formación de grupos con gran número de individuos, es posible que la utilización de estos desechos flotantes que se encuentran por todos los océanos favorezcan su dispersión y colonización.

Las nuevas extensiones de distribución de *Ophiactis savignyi* sugieren que la aparente ausencia de equinodermos en aguas poco profundas frente a la Guayana Francesa, y la diversidad extremadamente baja de ofiuroides que se encuentran en la plataforma continental en estudios anteriores con arrastre de camarón, debe atribuirse al tipo de equipo de muestreo que se empleó y al número limitado de sitios y tipos de hábitats que se han examinado y no necesariamente por ausencia de especies (Cherbonnier, 1959; Durand, 1959; Le Loeuff & von Cosel, 2000). Los ofiuroides, aparte de *O. savignyi* y *Ophiothela mirabilis*, podrían haber colonizado las localidades cercanas que presentan agua salina relativamente clara (Hendler & Brugneaux, 2013). Sin embargo, el tiempo, la

dirección y la frecuencia de los eventos de colonización no se pueden determinar con precisión en función de los datos disponibles. Tampoco es posible establecer el vector o la ruta por la cual *O. savignyi* llegó a múltiples regiones.

En México

Se desconoce cómo se introdujo a México.

6.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

Muy Alto. *Ophiactis savignyi* puede encontrarse en una gran variedad de hábitats incluyendo costas rocosas y camas de algas marinas, así como en el interior de esponjas, mangles, corales, muelles e incluso en los cascos de los botes (Roy & Sponer, 2002; McGovern, 2003).

b. Potencial de dispersión

Muy Alto. La dispersión ocurre principalmente a través de larvas planctotróficas que viven aproximadamente un mes antes de convertirse en adultos bentónicos. También puede ocurrir a través de los juveniles, que pueden estar a la deriva o desplazarse voluntariamente (Hendler *et al.*, 1999). Sin embargo, es poco probable que este modo de dispersión facilite el movimiento largo o incluso mediano y es más probable que sea una adaptación para encontrar condiciones optimas locales dentro de los sistemas de arrecifes (Hendler *et al.*, 1999). Se sabe que esta especie habita asociada a las comunidades de embarcaciones (Clark, 1919) y otras estructuras oceánicas artificiales (De Felice, 1999). Debido a la escala y la velocidad de transportación, esta especie puede potencialmente dispersarse globalmente en cuestión de una o pocas generaciones, cruzando fácilmente las barreras marinas naturales que una vez aislaron a las poblaciones y catalizaron sus trayectorias evolutivas independientes. De hecho, Clark (1919) sugirió que la distribución de esta especie podría ser artificial (Roy & Sponer, 2002).

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Factores físicos

Sus larvas planctónicas pueden dispersarse mediante las corrientes oceánicas.

Factores biológicos

Pertenece a un gremio de ofiuras de seis brazos o radios que se reproducen a través de la fisiparidad (reproducción asexual en la cual un organismo se divide en dos partes). Esto permite que uno solo de estos animales prolíficos produzca una población al dividirse su disco, regenerando y reiterando repetidamente el proceso de clonación. Su capacidad de utilizar una gran variedad de sustratos y organismos como hábitat, le permiten asentarse

en prácticamente cualquier lugar donde se encuentre (Roy & Sponer, 2002; McGovern, 2003).

Factores humanos

Su dispersión puede verse altamente favorecida al utilizar el agua de los tanques de lastre de los barcos. Además, al ser organismos de tallas muy reducidas, pueden viajar junto a otros organismos u objetos que son transportados a lugares lejanos y pasar desapercibidos a simple vista (Roy & Sponer, 2002; Hendler & Brugneaux, 2013).

d. Historia de introducción en México

Se recolectó por primera vez en el Pacífico oriental en 1854 en Cabo San Lucas, México (Orrell & Hollowell, 2018). A partir de entonces se ha distribuido prácticamente a lo largo de toda la costa del Pacífico mexicano y en gran parte del Pacífico oriental tropical, convirtiéndose en una especie muy común (Figura 21).

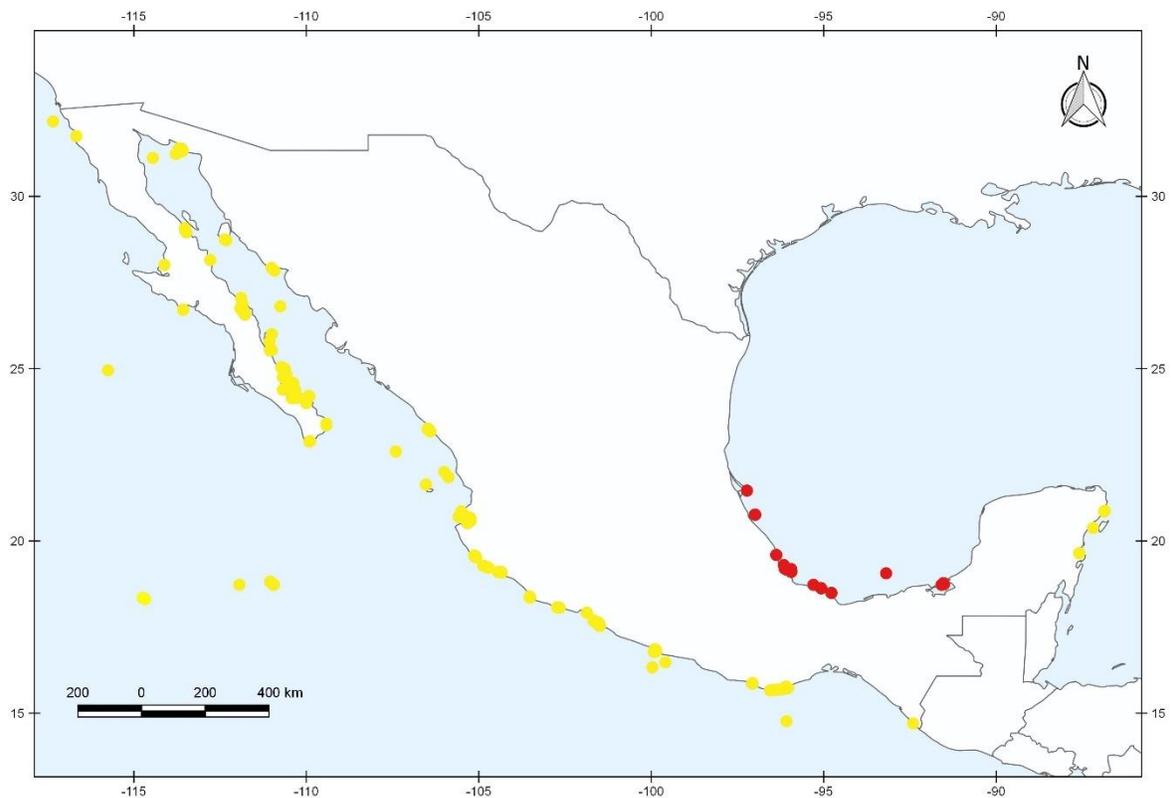


Figura 21. Distribución de *Ophiactis savignyi* en México. Puntos rojos: distribución invasora; puntos amarillos: distribución criptogénica. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

6.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

No se tienen impactos registrados.

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

No se han reportado impactos directos por esta especie, pero podrían ser sustanciales, dada la alta abundancia de esta especie en algunos lugares.

iii. Impactos a actividades productivas

No se tienen impactos registrados.

iv. Impactos económicos

No se tienen impactos registrados.

v. Otros impactos

Ninguno.

6.6. Control y mitigación

No existen programas específicos para el control o mitigación de esta especie. En la actualidad se considera una especie común de las costas de México y como parte de la fauna local (Solís-Marín *et al.*, 1997; Durán-González *et al.*, 2005; Laguarda-Figueras *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2005; Zamorano & Leyte-Morales, 2005; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Honey-Escandón *et al.*, 2008).

6.7. Normatividad

No existe una normatividad exclusiva para esta especie. Sin embargo, en algunos países debido al grado de invasión que presentan por esta u otras especies se implementan planes de control para especies exóticas que han sido esparcidas por actividades humanas. La clave para la gestión de vectores es comprender el proceso vectorial que causa las invasiones y cambiar el proceso para reducir las transferencias de especies.

Por ejemplo, en Hawái ya existen esfuerzos por reducir los mecanismos de invasión, en particular a través de la gestión estatal y federal del agua de lastre de los buques. La Guardia Costera de los EE. UU. y el Departamento de Tierras y Recursos Naturales de Hawái (DLNR, por sus siglas en inglés) operan y hacen cumplir los programas de gestión del agua de lastre que requieren que los embarcadores reduzcan las cantidades de agua de lastre costera en el extranjero que se está descargando en el estado. Una política de gestión de vectores para organismos bioincrustantes desempeñaría un papel de gran relevancia en la reducción de potenciales invasiones y daños a los ecosistemas naturales de nuestro país.

6.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) para *Ophiactis savignyi* en México fue de 24.0, el cual es equivalente a un riesgo Medio (Tabla 6.1., Anexo 6). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) fue de 30.0, lo que equivale a un riesgo Alto, este resultado considera predicciones de las condiciones ambientales en México a futuro. Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron altos (0.84 para BRA+CCA, 0.84 para BRA y 0.83 para CCA). El nivel de afectación para los sectores comercial y ambiental resultaron bajos (2 y 2 pts, respectivamente), mientras que los rasgos nocivos de la especie o población obtuvo un valor muy alto (30 pts), lo que esta favorecido en gran medida por sus adaptaciones fisiológicas que le permiten lograr una amplia distribución a nivel mundial.

Tabla 6.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo de la Estrella Quebradiza *Ophiactis savignyi* con la herramienta AS-ISK.

| Estadísticas | |
|---|--------------|
| Calificación | |
| BRA | 24.0 |
| Resultado BRA | Medio |
| BRA+CCA | 30.0 |
| Resultado BRA+CCA | Alto |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 0.0 |
| 1. Domesticación/Cultivo | -2.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 2.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 0.0 |
| B. Biología/Ecología | 24.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 6.0 |
| 5. Utilización de recursos | 2.0 |
| 6. Reproducción | 4.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 7.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | 5.0 |
| C. Cambio climático | 6.0 |
| 9. Cambio climático | 6.0 |
| Preguntas respondidas | |
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |

| | |
|---|-------------|
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 2 |
| Ambiental | 2 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 30 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |
| BRA+CCA | 0.84 |
| BRA | 0.84 |
| CCA | 0.83 |

6.9. Resumen y conclusiones

La ofiura *Ophiactis savignyi* es considerada la especie de la clase Ophiuroidea más ampliamente distribuida en el mundo. Prácticamente se encuentra en todos los mares tropicales y subtropicales. Debido a esto ha resultado difícil definir con claridad su punto de origen en las costas de México. En la actualidad es una especie tan abundante y común en todos los ambientes rocosos que nunca llegó a considerarse como una especie invasora en esta región. Es la única especie de equinodermo considerada como invasora dentro del Sistema de Información Nacional de Especies Exóticas Marinas y Estuarinas (NEMESIS), que es nativa del Indo-Pacífico y se ha expandido por el mundo llegando a la costa del Pacífico Oriental, considerada como especie criptogénica debido a que no se ha podido definir si fue una colonización por vía natural o no (Fofonoff *et al.*, 2018). En la región del Golfo de México y Atlántico oeste es considerada una especie introducida por acciones antropogénicas, presumiblemente vía agua de lastre (Roy & Sporer, 2002).

A pesar de que sus poblaciones alcanzan números muy grandes no se tiene registro de afectaciones que haya llegado a causar en algún otro lugar. Aparentemente se ha adaptado rápidamente a las condiciones ambientales del Pacífico mexicano y Golfo de México, regiones donde ya forma parte de las redes tróficas locales. Un estudio detallado de las interacciones que desarrolla con las especies locales sería de gran ayuda para establecer con mayor claridad el nicho ecológico que ocupa en la región y con esto determinar si es que pudiera ser un riesgo para los ecosistemas marinos. Resulta interesante conocer el tipo de interacción que guarda con su congénere *O. simplex* que es nativo y también se

distribuye ampliamente en la región del Pacífico Oriental Tropical desde California hasta Perú.

6.10. Referencias

Alvarado, J. J. & Fernández, C. 2005. Equinodermos del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 275-284.

Amor, K., Rifi, M., Ghanem, R., Draief, I., Zouali, J. & Souissi, J. B. 2016. Update of alien fauna and new records of Tunisian marine fauna. *Mediterranean Marine Science* 17: 124-143

Barboza, C. A. M., Mattos, G. & Paiva, P. C. 2015. Brittle stars from the Saint Peter and Saint Paul Archipelago: morphological and molecular data. *Marine Biodiversity Records* 8: e16.

Barraza, J. E. & Hasbún, C. R. 2005. Los equinodermos (Echinodermata) de El Salvador. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl. 3): 139-146.

Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328.

Caso, M. E., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Ortega-Salas, A. & Durán-González, A. L. 1996. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de equinodermos de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 22(1): 101-119.

Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83.

Cherbonnier, G. 1959. Echinodermes de la Guyane Française (Crinoïdes, Astérides, Ophiurides, Echinides, Holothurides). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 2e série* 31: 261-265.

Clark, H. L. 1919. The distribution of the littoral echinoderms of the West Indies. *Carnegie Institution of Washington Publication* 281, 49-74 + pls 1-3.

Cohen-Rengifo, M., Bessudo, S. & Soler, G. 2009. Echinoderms, Malpelo Fauna and Flora Sanctuary, Colombian Pacific: New reports and distributional issues. *Check List* 5(3): 702-711.

DeFelice, R. C. 1999. Fouling marine invertebrates on the floating dry dock USS Machinist in Pearl Harbor prior to its move to Apra Harbor, Guam. Final Report to the United States Fish and Wildlife Service, Pacific Islands Ecoregion, Honolulu, Hawai'i. Bishop Museum Hawai'i Biological Survey Contribution 1999-013, 16 pp.

Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Buitrón-Sánchez, B. E., Ahearn, C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 53: 53-68.

Durand, J. 1959. Notes sur le plateau continental Guyanais. Les éléments principaux de la faune et leurs relations avec le fond. *Cahiers de l'ORSTOM* 3: 1-104.

Emson, R. H. & Wilkie, I. C. 1984. An apparent instance of recruitment following sexual reproduction in the fissiparous brittlestar *Ophiactis savignyi* Müller and Troschel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 77: 23-28.

Emson, R. H. & Mladenov, P. V. 1992. Field and laboratory observations on the feeding of *Macrophiiothrix variabilis* (Lamarck) with notes on the feeding of *Ophiactis savignyi* (Muller and Troschel). En: *The marine flora and fauna of Hong Kong and southern China III*. Morton, B. (Ed). Hong Kong University, Hong Kong, 769-778.

Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019.

Galil, B. S. 2007. Seeing Red: Alien species along the Mediterranean coast of Israel. *Aquatic Invasions* 2: 281-312.

GBIF. 2018. GBIF Occurrence Download. Consultado el 12/12/2028 https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2270598

Godwin, L. S., Eldredge, L. G. & Gaut, K. 2004. The assessment of hull fouling as a mechanism for the introduction and dispersal of marine alien species in the main Hawaiian Islands. Bishop Museum Technical Report No. 28, 114 pp.

Gondim, A. I., Lacouth, P., Alonso, C. & Manso, C. L. C. 2008. Echinodermata da Praia do Cabo Branco, João Pessoa, Paraíba, Brasil. *Biota Neotropica* 8: 151-159.

Granja-Fernández, R., Herrero-Pérezrul, M. D., López-Pérez, R. A., Hernández, L., Rodríguez-Zaragoza, F. A., Jones, R. W. & Pineda-López, R. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. *ZooKeys* 406: 101-145.

Guille, A. 1969. Sur la presence de *Ophiactis savignyi* Muller and Troschel dans la region de Banyls-sur-Mer. *Vie et Milieu Serie A: Biologie Marine* 19: 497-500.

Hendler, G. 1991. Echinodermata: Ophiuroidea. En: *Reproduction of Marine Invertebrates, Vol. VI, Echinoderms and Lophophorates*. Giese, A.C., Pearse, J.S. & Pearse, V.B. (Eds). The Boxwood Press, Pacific Grove, CA, pp. 355-511.

Hendler, G. & Littman, B. S. 1986. The ploys of sex: relationships among the mode of reproduction, body size and habitats of coral-reef brittlestars. *Coral Reefs* 5: 31-42.

Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113.

Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. & Kier, P. M. 1995. *Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean*. Washington, DC. Smithsonian Institution Press.

Hendler, G., Baldwin, C. C., Smith, D. G. & Thacker, C. E. 1999. Planktonic dispersal of juvenile brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) on a Caribbean reef. *Bulletin of Marine Science* 65: 283-288.

Hewitt, C. L. & Campbell, M. L. 2010. *Assessment of relative contribution of vectors to the introduction and translocation of marine invasive species*, report for the Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, National Centre for Marine Conservation & Resource Sustainability, Australian Maritime College, University of Tasmania.

Hickman, C. P. Jr. 1998. *Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos*. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83.

Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueroa, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 57-73.

Katsanevakis, S., Tsiamis, K., Ioannou, G., Michailidis, N. & Zenetos, A. 2009. Inventory of alien marine species of Cyprus. *Mediterranean Marine Science* 10: 109-133.

Laguarda-Figueroa, A., Solís-Marín, F. A., Durán-González, A., Ahearn, C. G., Buitrón-Sánchez, B. E. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 53: 109-122.

Le Loeuff, P. & von Cosel, R. 2000. Aperçus sur la macrofaune benthique du plateau continental de la Guyane française (résultats de la campagne GREEN 0, 16 au 20 avril 1999). Document Scientifique et Technique du Centre IRD de Bretagne, No. 86, 39 pp.

Matsumoto, H. 1915. A new classification of the Ophiuroidea: with description of new genera and species. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 68: 43-92.

McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517.

McGovern, T. M. 2003. Plastic reproductive strategies in a clonal marine invertebrate. *Proceedings of the Royal Society B*. 270: 2517-2522.

Mead, A., Carlton, J. T., Griffiths, C. L. & Rius, M. 2011. Introduced and cryptogenic marine and estuarine species of South Africa. *Journal of Natural History* 39-40: 2463-2524.

Mladenov, P. V. & Emson, R. H. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for

interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. *Marine Ecology Progress Series* 42: 181-194.

Neira, R. & Cantera, J. R. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico Colombiano. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 195-206.

Neves, B. M., Lima, E. J. B. & Pérez, C. D. 2007. Brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) associated with the octocoral *Carijoa riisei* (Cnidaria: Anthozoa) from the littoral of Pernambuco, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87: 1263-1267.

Nielsen, E. 1932. Ophiurans from the Gulf of Panama, California, and the Strait of Georgia. *Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening* 91: 241-346.

Orrell, T. & Hollowell, T. 2018. NMNH Extant Specimen Records. Version 1.19. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/hnhrg3> accessed via GBIF.org on 2019-02-18. <https://www.gbif.org/occurrence/1319581579>.

Pancuci-Papadopoulou., M. A., Zenetos, A., Corsini-Foka, M. & Politou, C. Y. 2005. Update of marine alien species in Hellenic waters. *Mediterranean Marine Science* 6: 1-11.

Paulay, G., Kirkendale, L., Lambert, G. & Meyer, C. 2002. Anthropogenic biotic interchange in a coral reef ecosystem: a case study from Guam. *Pacific Science* 56: 403-422.

Pineda-Enriquez, T. 2011. Biodiversidad de los equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, de 0 a 300 m de profundidad, utilizando el submarino DeepSee como herramienta de muestreo. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 186 pp.

Rech, S., Borrell, Y. & García-Vazquez, E. 2016. Marine litter as a vector for non-native species: What we need to know. *Marine Pollution Bulletin* 113: 40-43.

Ríos-Jara, E, Galván-Villa, C. M. & Solís-Marín, F. A. 2008. Equinodermos del Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 131-141.

Ríos-Jara, E., Galván-Villa, C. M., Rodríguez-Zaragoza, F. A., López-Uriarte, E., Bastida-Izaguirre, D. & Solís-Marín, F. A. 2013. Los equinodermos (Echinodermata) de bahía Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 263-279.

Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B.* 269: 1017-1023.

Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Ahearn, C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53: 123-137.

Solís-Marín, F. A., Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M. D., Arizpe-Covarrubias, O. & Laguarda-Figueras, A. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. *Ciencias Marinas* 23(2): 249-263.

Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* 22(1): 83-88.

Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* IX: 19-28.

Ziesenhene, F. C. 1937. Echinoderms from the West Coast of Lower California, the Gulf of California and Clarion Island. *Zoologica* 22(15): 209-239.

7.1. Análisis de riesgo del coral Copo de Nieve *Carijoa riisei* (Cnidaria: Clavulariidae)

El coral Copo de Nieve (*Carijoa riisei*) es un coral blando ampliamente distribuido en mares tropicales y subtropicales de todo el mundo (Figura 22). Se describió por primera vez en las Islas Vírgenes y su origen ha sido punto de debate de muchos grupos de investigación. Anteriormente se consideraba una especie proveniente del Mar Caribe y el Atlántico occidental, sin embargo, estudios genéticos recientes demostraron que su origen es realmente el Indo-Pacífico occidental. Se ha introducido en las islas de Hawái y más recientemente en el Pacífico oriental tropical. Se encuentra en una amplia variedad de hábitats marinos como arrecifes rocosos, arrecifes de coral, manglares y estructuras hechas por el hombre, como muelles y cascos de barcos. En Hawái, esta especie ha causado mortalidad en poblaciones nativas de Coral Negro (*Antipathes dichotoma*), con implicaciones tanto ecológicas como económicas (Kahng *et al.*, 2008). En los últimos años, esta especie se ha registrado en el Golfo de México y en el Pacífico central mexicano, posiblemente fue introducida de manera accidental por embarcaciones provenientes de otros países (Zarco-Perelló *et al.*, 2013; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018). La evaluación de riesgo de esta especie en etapas tempranas de su introducción permitirá tomar decisiones sobre su control y en caso necesario erradicación antes de que se presenten impactos mayores a los ecosistemas naturales de la región.



Figura 22. Coral copo de nieve *Carijoa riisei*. Fotografía: Cristian Galván.

7.2. Introducción

a. Taxonomía/especies

Phylum Cnidaria Verrill, 1865

Clase Anthozoa Ehrenberg, 1834

Subclase Octocorallia Haeckel, 1866

Orden Alcyonacea Lamouroux, 1812

Suborden Stolonifera Thomson & Simpson, 1909

Familia Clavulariidae Hickson, 1894

Género *Carijoa* F. Müller, 1867

Carijoa riisei (Duchassaing & Michelotti, 1860)

Sinonimias:

Carijoa rupicola (Müller, 1867)

Clavularia riisei (Duchassaing & Michelotti, 1860)

Telesto riisei Duchassaing & Michelotti, 1860

Telesto riisei (Laackmann, 1908)

Telesto rupicola (Laackmann, 1909)

Nombres comunes⁶:

Coral copo de nieve (español)

Orange soft coral (inglés)

Snowflake coral (inglés)

Branched pipe coral (inglés)

White telesto (inglés)

b. Descripción

Las colonias son densamente ramificadas y arborescentes, con ramas que parten de estolones comunes a la colonia, con una coloración rojiza, anaranjada o naranja pálido en el cáliz. Los pólipos crecen en una colonia conectada por una masa de tejido llamada cenénquima, que consiste en mesoglea, perforada por tubos gastrodérmicos que conectan los interiores de los pólipos. La mesoglea contiene partículas esqueléticas calcáreas, llamadas escleritas, que forman un esqueleto interno para la colonia (DeVictor & Morton, 2010). Las colonias de *C. riisei* crecen por ramificación monopodial con un único zooide axial, en el que las ramas surgen de un solo tallo, que se alarga progresivamente. Las colonias pueden tener hasta 35.5 cm de altura. Las colonias están conectadas por estolones

⁶ <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Carijoa+riisei> Consultado el 10 de junio de 2019.

que se arrastran, lo que da lugar a nuevas colonias. El tallo es liso cerca de su base, pero en sus crestas superiores tiene ocho crestas longitudinales. Las colonias son tupidas y densamente ramificadas. Los zooides a veces surgen en pares de una rama, o pueden ser espirales, con cuatro zooides en cada turno (Deichmann, 1936; Bayer, 1981; Castro *et al.*, 2010; DeVictor & Morton, 2010; Barbosa *et al.*, 2014).

Los pólipos son blancos y cilíndricos, la porción externa (antocodio) puede retraerse completamente en la porción de pólipo (antosteale) que está incrustada en el cenénquima. El antocodio se dispone en ocho hileras hacia la base de los tentáculos y ocho septales bajo estos. Los pólipos tienen escasa espiculación en forma de pequeñas varillas, que se encuentran en las bases de los pólipos y en las regiones basales de los mesenterios. Las varillas anticodiales varían en tamaño, aunque las de mayor tamaño presentan procesos espinosos y curvaturas (DeVictor & Morton, 2010). Los ejemplares de *C. riisei* son fácilmente distinguibles de otras especies de la familia Clavulariidae por sus escleritas. Las escleritas de la pared del cuerpo presentan dos formas: varillas largas y curvas con procesos espinosos y escleritas gruesas y cortas con tubérculos y procesos complejos de formas irregulares, las escleritas más pequeñas pueden encontrarse algunas veces semifusionadas (Deichmann, 1936; Bayer, 1961, 1981; Castro *et al.*, 2010).

Concepcion *et al.* (2008; 2010) tratan a la mayoría de los especímenes de *Carijoa* en su análisis genético como *C. riisei*, aunque han excluido un morfo transparente encontrado en Hawái, como posiblemente una especie críptica. Sin embargo, reconocen que la taxonomía de este coral no está resuelta.

c. Biología e historia natural

Es un coral no fotosintético, esto significa que no presenta asociación simbiótica con microalgas para producir su alimento. Es un organismo filtrador que se alimenta de zooplancton (por ejemplo, pequeñas larvas de crustáceos y moluscos) y partículas orgánicas que captura con sus tentáculos, por lo que requiere zonas donde haya un flujo o movimiento constante de agua que le provea de alimento (Dhivya *et al.*, 2012).

Crece en zonas donde la luz no penetra de forma directa, prefiere zonas turbias con mucha materia orgánica en suspensión. Se encuentra desde 0 hasta 700 metros de profundidad (Deichmann, 1936; Collin *et al.*, 2005; DeVictor & Morton, 2010). Se le encuentra en estructuras sumergidas como pilotes, muelles, escolleras, barcos hundidos o incluso arrecifes rocosos. También puede crecer en superficies artificiales de metal, concreto, plástico, cuerdas, incluso hule como llantas de automóvil hundidas (Dhivya *et al.*, 2012).

Exhibe una alta fecundidad, con capacidad de producir cientos de huevos por pólipo. *Carijoa riisei* es una especie gonocórica, esto es que se pueden encontrar colonias masculinas y femeninas, aunque también se presentan colonias hermafroditas. La gametogénesis es asincrónica continua, y no se presenta periodicidad estacional o lunar. Además, puede reproducirse a través de crecimiento vegetativo usando sus estolones. Presenta una larva planctónica que facilita su dispersión a través de las corrientes marinas. El crecimiento rápido, la propagación vegetativa (reproducción asexual) y su alta capacidad competitiva

han permitido que este octocoral forme densas agregaciones multicolumnales, facilitando así la reproducción sexual (Kahng *et al.*, 2008).

A pesar de su alto grado de competitividad por espacio con unas especies, *C. riisei* guarda cierto grado de interacción con otras especies. En arrecifes de Indonesia se encontró que el coral presenta una interacción con la esponja *Desmapsamma anchorata* (Porifera: Desmacididae), la cual influye en el patrón de crecimiento de la colonia, la longitud y densidad de los pólipos, así como en la disposición y abundancia de cnidocitos (Calcinai *et al.*, 2004). Se han encontrado diferentes especies de invertebrados asociados a las colonias de *C. riisei*, que posiblemente utilizan la colonia como hábitat o refugio (Bayer, 1956; Silveira, 1986; Costa, 2013; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018) (Cuadro 7.1). Además, se han reportado asociaciones epibionticas con los cangrejos *Mycrophrys interruptus* y *Pelia tumida*, en las cuales el octocoral se beneficia de estas especies para su asentamiento y dispersión al desarrollarse sobre sus caparazones (Bruto-Costa *et al.*, 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

Cuadro 7.1. Invertebrados asociados a colonias de *Carijoa riisei* en el puerto de Manzanillo, México. Tomado de Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018.

| Phylum | Clase | Orden | Familia | Especie | |
|-----------------|---|-----------------|--|---|---|
| Platyhelminthes | Turbellaria | Polycladida | Leptoplanidae | Sp. | |
| Annelida | Polychaeta | Phyllodocida | Phyllodocidae | Sp. | |
| | | Amphinomida | Amphinomidae | Sp. | |
| Arthropoda | Maxillopoda Malacostraca | Eunicida | Eunicidae | Sp. | |
| | | Sabellida | Sabellidae | <i>Branchiomma bairdi</i> (McIntosh, 1885) | |
| | | Thoracica | – | Sp. | |
| | | Isopoda | Paranthuridae | <i>Paranthurus elegans</i> Menzies, 1951 | |
| | | Amphipoda | Podoceridae | <i>Podocerus cf. fulanus</i> J.L. Barnard, 1962 | |
| | | | Neomegamphopidae | <i>Neomegamphopus</i> sp. | |
| | | | Decapoda | Benthescymidae | <i>Benthescymus tanneri</i> Faxon, 1893 |
| | | | | Palaemonidae | <i>Palaemon hiltoni</i> (Schmitt, 1921) |
| | | | | Thoridae | <i>Thor cordelli</i> Wicksten, 1996 |
| | | | | Paguridae | <i>Pagurus lepidus</i> (Bouvier, 1898) |
| | | | | Mithracidae | <i>Ala cornuta</i> (Stimpson, 1860) |
| | | Mollusca | Gastropoda | Caenogastropoda Neogastropoda | Pisidae |
| | <i>Pelia pacifica</i> A. Milne-Edwards, 1875 | | | | |
| | <i>Pelia tumida</i> (Lockington, 1877) | | | | |
| | <i>Vermicularia frisebryae</i> McLean, 1970 | | | | |
| | <i>Anachis nigrofusca</i> Carpenter, 1857 | | | | |
| | <i>Murexsul jaliscoensis</i> (Radwin & D'Attilio, 1970) | | | | |
| | <i>Trachypollia lugubris</i> (C. B. Adams, 1852) | | | | |
| | <i>Cantharus</i> sp. | | | | |
| | <i>Brephodrilgia ella</i> Pilsbry & Lowe, 1932 | | | | |
| | <i>Crassispira discors</i> (Sowerby I, 1834) | | | | |
| Echinodermata | Ophiuroidea | Ophiurida | Ophiactidae | <i>Ophiactis savignyi</i> (Müller & Troschel, 1842) | |
| | | | | <i>Ophiactis simplex</i> (Le Conte, 1851) | |
| | | | | <i>Ophiothela mirabilis</i> Verrill, 1867 | |
| | | Ophiothrichidae | <i>Ophiothrix spiculata</i> Le Conte, 1851 | | |

d. Comportamiento colonial/conducta

Forma colonias densamente ramificadas que crecen sobre superficies firmes a las cuales se adhiere firmemente con sus estolones. Es una especie con un crecimiento rápido con una alta capacidad competitiva contra otras especies. En Hawái forma densas colonias en

cavidades a lo largo de paredes verticales o en los techos de cuevas y salientes donde las corrientes son fuertes, o bajo los muelles en los puertos donde el plancton es abundante (Hoover, 1999). Incluso puede desarrollarse sobre otros organismos como corales y crustáceos (Bruto-Costa *et al.*, 2014; Sánchez & Ballesteros, 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

Es una especie muy resistente a la depredación. Solo se conocen unos pocos depredadores naturales como los nudibranquios *Phyllodesmium poindimiei* y *Tritoniopsis elegans*, nativos del Indo-Pacífico occidental (Carlton & Eldredge, 2009; Wagner *et al.*, 2009), y más recientemente se observó actividad de forrajeo por el pez Ángel Rey *Holacanthus passer* en arrecifes del Pacífico Colombiano (Sánchez & Ballesteros, 2014).

e. Estatus

Carijoa riisei es un coral blando ampliamente distribuido en aguas marinas tropicales y subtropicales de todo el mundo. Fue descrito en las Islas Vírgenes en 1860 y posteriormente se encontró en el Atlántico desde Carolina del Sur hasta Brasil (Deichmann, 1936; DeVicтор & Morton, 2010) (Figura 23).

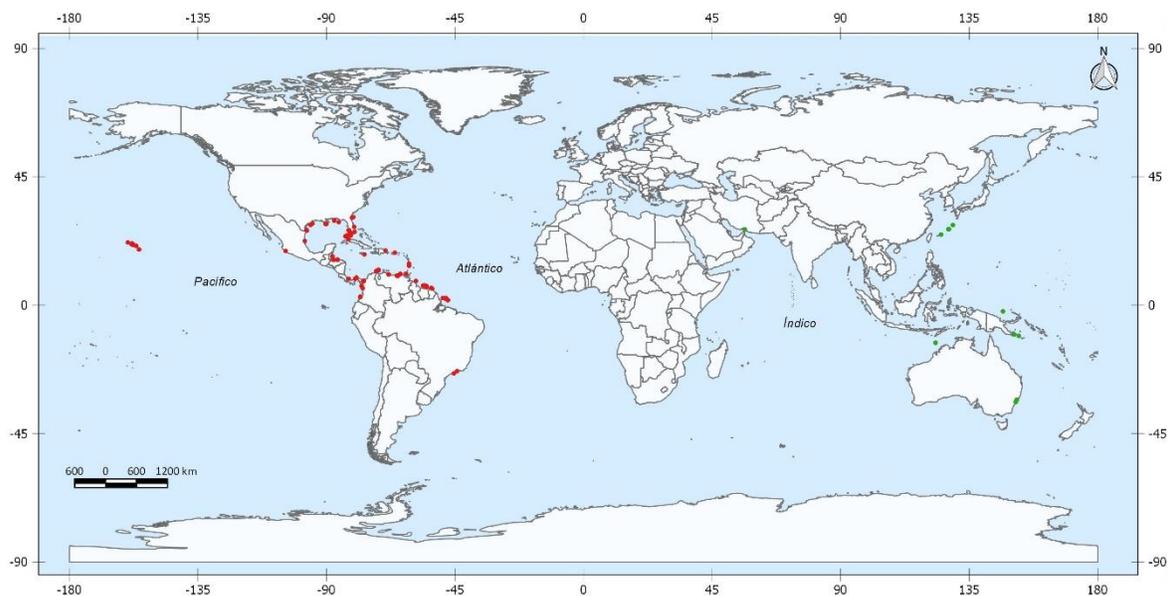


Figura 23. Distribución mundial de *Carijoa riisei*. Puntos verdes: nativa; puntos rojos: invasora. Información obtenida de GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

A partir de los años 60's se han obtenido numerosos registros de esta especie (Figura 24). Desde 1966 se empezó a registrar como especie invasora en Oahu, islas de Hawái (Kahng *et al.*, 2008). Se ha registrado desde Florida, EUA a Santa Catarina, incluyendo las islas de St. Paul Rocks, Brasil (Edwards & Lubbock, 1983). Se ha reportado en el Atlántico Este en la isla de São Tomé en la República Democrática de São Tomé y Príncipe (Concepción *et al.*, 2010); en Gabon en la costa oeste de África central (Friedlander *et al.*, 2014). En el Océano Indico

los reportes incluyen las islas Andaman (Dhivya *et al.*, 2012), el golfo de Mannar (Padmakumar *et al.*, 2011), y el golfo de Kutch (Yogesh-Kumar *et al.*, 2014). En el Indo-Pacífico se tienen registros en Chuuk, Palau, las Filipinas, Indonesia, Australia, Singapur, Shanghái, Sumatra, Manila y Nueva Bretaña (Raghunathan *et al.*, 2013). En el Golfo de México (Tunnell *et al.*, 2007; Zarco-Perelló *et al.*, 2013). Más recientemente, se ha encontrado en el Pacífico oriental tropical en arrecifes de Colombia (Gutiérrez, 2010, 2012; Sánchez & Ballesteros, 2014; Quintanilla *et al.*, 2017) y en el Pacífico central mexicano en la bahía de Manzanillo, Colima (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

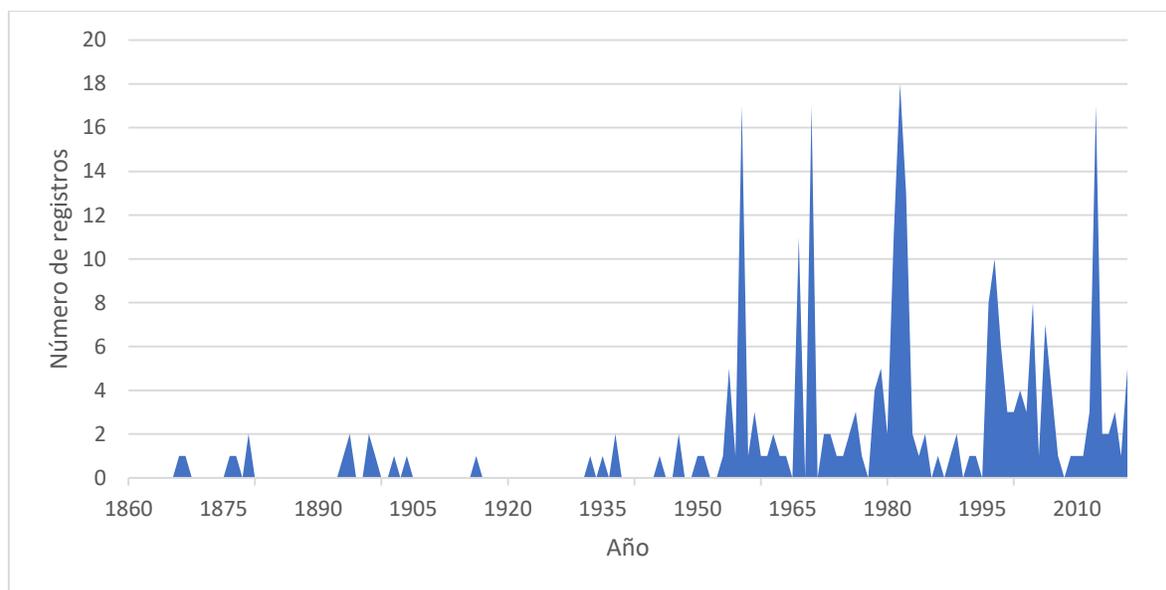


Figura 24. Ocurrencias de *Carijoa riisei* por año a nivel mundial. Fuente: GBIF (2018).

7.3. Rutas de introducción

En el Mundo

El origen de *Carijoa riisei* ha sido muy controversial. Originalmente se pensó que era un invasor de origen caribeño, pero un estudio genético de poblaciones mundiales encontró que la diversidad genética de este coral era mayor en el Pacífico Indo-Oeste, y menor en las Islas de Hawái y en el Atlántico Occidental (Concepción *et al.*, 2008). En consecuencia, se concluyó que *C. riisei* parece ser nativo del Indo-Pacífico, introducido en las islas de Hawái, y con una introducción muy temprana al Atlántico occidental. Basado en los especímenes examinados por Concepcion *et al.* (2010), y en especímenes de museos, el área nativa de *C. riisei* incluye los océanos Pacífico e Índico y occidental desde el Golfo de Omán y Okinawa, desde el sur hasta Mozambique y Australia del Sur, y hacia el oeste hasta Fiji y Tonga (Concepcion *et al.*, 2010).

En la actualidad en diferentes bases de datos electronicas referentes a especies invasoras (*e.g.* GISD, ISSG, CABI) se considera que es una especie nativa del Atlántico oeste desde Florida hasta Brasil, incluyendo el Golfo de México y el Mar Caribe, como originalmente se

había planteado por Bayer en 1961. Por lo tanto, se considera invasora en las islas de Hawái, el Atlántico occidental y más recientemente en el Pacífico oriental tropical (Sánchez & Ballesteros, 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

En México

En el Golfo de México fue registrada por primera vez en el 2007 en el arrecife de Sisal localizado en el Banco de Campeche (Zarco-Perelló *et al.*, 2013). Se piensa que se expandió desde el Caribe hacia esta localidad, sin embargo, no se cuenta con información precisa de cómo es que pudo llegar a esta localidad. En el Pacífico central mexicano es muy probable que el vector de introducción hayan sido las embarcaciones que llegan al puerto de Manzanillo, Colima. Puede ser parte de la fauna adherida a los cascos (*fouling*); además, es muy probable que sea transportada en las aguas de lastre durante su fase larvaria antes de asentarse y desarrollar la colonia (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

Resulta difícil establecer la ruta de introducción con certeza debido a que solo se ha registrado en la bahía de Manzanillo. El puerto recibe mercancías de importación y exportación de varias localidades del mundo, siendo las rutas marítimas principales desde países del Pacífico occidental (China, Taiwán, Corea, Hong Kong, Malaysia, Singapur, Indonesia, Japón, Rusia), del Pacífico norte (Canadá y EUA), y del Pacífico suroriental (Chile, Ecuador, Colombia y Guatemala) (SCT, 2019).

Una de las rutas más probables resulta el Canal de Panamá, pero se requieren evidencias que apoyen esta hipótesis. Además, debido a que existen puertos intermedios en el Pacífico oriental tropical (e.g. Puerto de Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Puerto Chiapas en México; Champerico en Guatemala; Puerto de Belice en Belice; Acajutla en El Salvador; Cortes en Honduras; Puerto Cabezas en Nicaragua; Puerto Caldera en Costa Rica, entre otros) es posible que estos hayan servido como puentes o puntos de paso para la dispersión de la especie (modelo de dispersión *Stepping-stone*). Se considera que, en este modelo de dispersión, los paisajes o comunidades parecidas entre sí, constituyen un tipo de corredor discontinuo que se encuentran lo suficientemente cercanas geográficamente como para permitir flujos de especies (larvas o adultos) a través de todo el conjunto (Forman, 1997). Este tipo de efecto se ha observado en la propagación y dispersión de especies invasoras tanto acuáticas como terrestres (Buchan & Padilla, 1999; Suarez *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2018).

Aunque se ha reportado como una especie de ornato para acuarios o como souvenir en México, cabe la posibilidad de su introducción intencional con estos fines. La falta de un control y manejo adecuado del comercio de especies marinas con fines ornamentales puede incrementar los riesgos de liberación de organismos a los ecosistemas naturales y como consecuencia la colonización de estos ecosistemas.

Otra posible vía de introducción para esta especie, es el transporte como fauna asociada a los desechos marinos (*Marine debris*), los cuales se han convertido un mecanismo importante para la dispersión de una gran cantidad de especies en los ecosistemas marinos (Gil & Pfaller, 2016; Rech *et al.*, 2016; Miller *et al.*, 2018; Rech *et al.*, 2018).

7.4. Potencial de establecimiento y colonización

a. Potencial de colonización

El potencial de colonización de *Carijoa riisei* es muy alto. Es una especie que utiliza una amplia variedad de sustratos para desarrollarse, con una alta tolerancia a ambientes perturbados, por lo que diversas actividades humanas como el transporte de mercancías por embarcaciones y la colocación de sustratos artificiales como diques, escolleras, muelles, pecios, etc, favorecen su establecimiento en nuevas localidades (Bayer, 1961; Sánchez, 1994; Grigg, 2003; Kahng & Grigg, 2005; Sánchez & Ballesteros, 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

b. Potencial de dispersión

El potencial de dispersión es muy alto. El Coral Copo de Nieve tiene la capacidad de adherirse a diferentes estructuras que pueden facilitar su dispersión (Sánchez, 1994). Además, sus larvas pueden ser transportadas a través del agua de lastre de las embarcaciones y posteriormente ser liberadas en un punto distante (Thomas, 1979; Colin & Anderson, 1995; Coles *et al.*, 2006).

c. Factores que favorecen su establecimiento y dispersión

Factores físicos

Utiliza una amplia variedad de sustratos para asentarse como estructuras de metal, concreto, madera, plástico, incluso utilizar otros organismos como corales y crustáceos. La variedad de hábitats que utiliza incluye arrecifes rocosos, arrecifes de coral, cuevas, grietas, raíces de manglares, y desde muelles, embarcaderos, plataformas petroleras y cascos de barcos (Carlton & Eldredge, 2009; Lira *et al.*, 2009; Friedlander *et al.*, 2014; Barbosa *et al.*, 2014). Puede ocurrir desde la línea de bajamar hasta 700 m de profundidad. Se ha recolectado en hábitats de clima templado cálido en Georgia y Carolina del Sur, pero a profundidades de entre 30 y 35 metros (DeVictor & Morton, 2010), donde la Corriente del golfo puede moderar las temperaturas invernales. En aguas profundas frente a Maui, la distribución de *C. riisei* parece estar limitada por una isoterma de 22°C (Kahng & Grigg, 2005). No se conocen las tolerancias precisas de salinidad, pero este coral puede sobrevivir hasta un par de días a 25 psu y fue destruido en minutos por agua dulce (Toonen *et al.*, 2007). Este coral se encuentra a menudo en aguas turbias con corrientes rápidas y gran concentración de materia orgánica en suspensión (Grigg, 2003).

Factores biológicos

El coral copo de nieve posee la capacidad de crecimiento explosivo que le permite dominar competidores. Exhibe una alta fecundidad, con capacidad de producir cientos de huevos por pólipo. Se reproduce continuamente. Desarrolla colonias masculinas, femeninas y hermafroditas capaces de desarrollar una reproducción monoparental. Se propaga a través del crecimiento vegetativo utilizando sus estolones para colonizar rápidamente el territorio adyacente en todas las direcciones. Posee un estadio larvario planctónico que facilita su dispersión a través de las corrientes oceánicas. Es altamente resistente a la depredación y

es un organismo filtrador que se alimenta eficazmente de una amplia variedad de organismos zooplanctónicos (Kahng *et al.*, 2008; Sánchez & Ballesteros, 2014).

Factores humanos

La disponibilidad de hábitat y dispersión es ayudada por las actividades humanas como la construcción de muelles, escolleras, arrecifes artificiales, etc. El tráfico marítimo también contribuye a la dispersión mediante el agua de lastre que utilizan las embarcaciones (Hewitt & Campbell, 2010; Okolodkov *et al.*, 2007). El comercio de especies ornamentales para acuarios o suvenirs se ha reconocido como otro vector posible que contribuye a la introducción del Coral Copo de Nieve a otras zonas (Gasparini *et al.*, 2004).

d. Historia de introducción en México

Golfo de México

No se sabe con certeza a partir de qué año se introdujo *Carijoa riisei* a México. El registro más antiguo que se encuentra es de 1971 de un espécimen preservado en la colección de invertebrados marinos del Departamento de Oceanografía de la Texas A&M University colectado mediante un arrastre en la costa de Tamaulipas (Prestridge, 2016). En 2007, Zarco-Perelló *et al.* (2013), registran por primera vez a *Carijoa riisei* en los arrecifes de Sisal en el banco de Campeche, con este registro se expande la distribución de esta especie desde el Caribe hasta el Banco de Campeche (Tunnell *et al.*, 2007). Cairns & Bayer (2009) lo incluyen dentro de la lista de especies de cnidarios que integran la fauna del Golfo de México, presente en las regiones sureste y noroeste del golfo, en este caso no se hace mención que sea una especie invasora en la región.

Océano Pacífico

Cortés *et al.* (2017) mencionan a *Carijoa riisei* dentro de una lista de especies de octocorales presentes en el Pacífico oriental tropical. Estos autores señalan que es una especie presente en toda la región del POT, desde México hasta Perú y las islas oceánicas de Cocos, Malpelo y Galapagos, sin embargo, no se ha confirmado por estudios científicos la presencia de *C. riisei* en todos estos lugares, ni se precisa en que parte de México se encuentra.

El primer registro formal de *C. riisei* en la costa del Pacífico mexicano, se realizó en 2017 en la bahía de Manzanillo, Colima (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018) (Figura 25). En este estudio se reportan algunas colonias asociadas a estructuras de concreto que forman parte de la escollera en la entrada de los buques al puerto, en una zona de alta turbidez y gran cantidad de materia orgánica (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018). Posteriormente, en 2018 se encontró asociado al casco del barco carguero San Luciano que se encuentra hundido frente a la Playa de La Boquita en la bahía de Santiago (Galván-Villa obs. pers.). Debido a las actividades portuarias que se realizan en la bahía de Manzanillo, es posible que su introducción se dio a través del agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto. Sin embargo, se desconoce si proviene del Indo-Pacífico, de las islas de Hawái, del Atlántico (a través del Canal de Panamá) o del mismo Golfo de México.

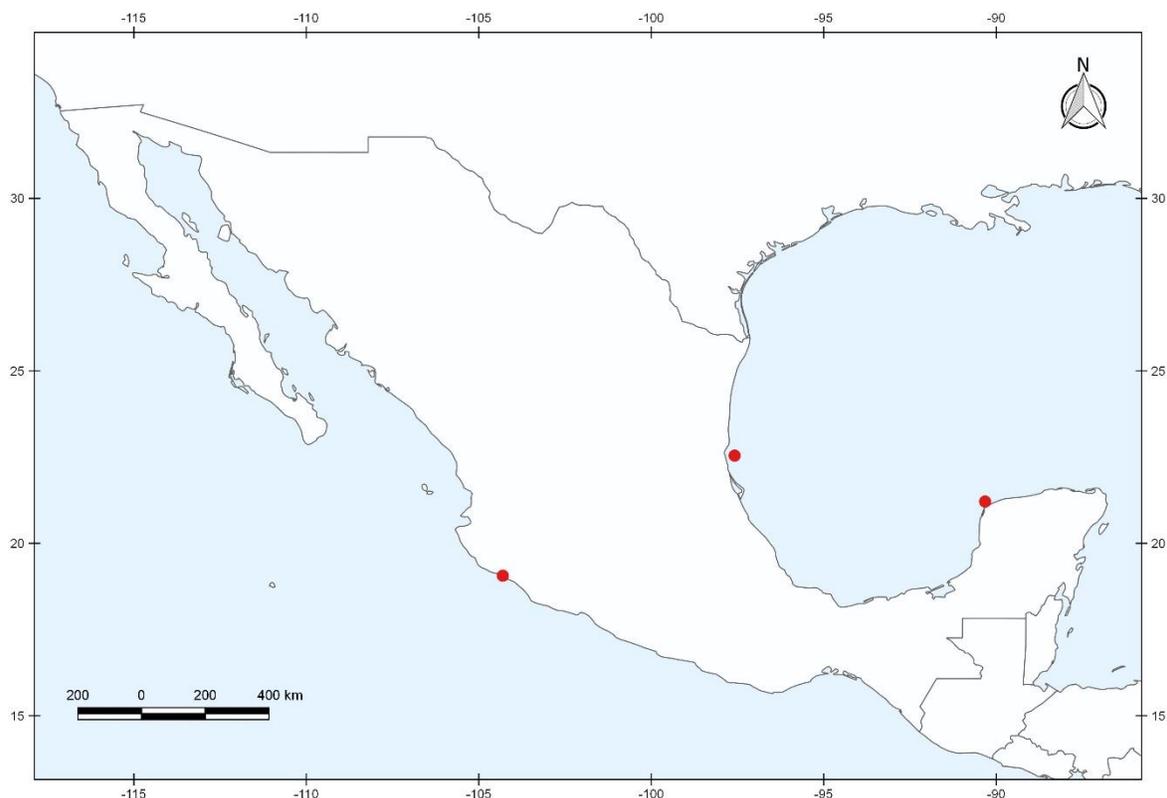


Figura 25. Registros confirmados de *Carijoa riisei* en México. Puntos rojos: distribución invasora. Información obtenida de Zarco-Perelló *et al.* (2013); Galván-Villa & Ríos-Jara (2018) y GBIF (2018). Fuente: Ivonne García Quezada.

7.5. Evidencias de impactos

i. Impactos a la salud

No es una especie que provoque daños a la salud humana.

ii. Impactos ambientales y a la biodiversidad

En Hawái, el coral Copo de Nieve se ha convertido rápidamente en una plaga grave, afectando seriamente la ecología y la economía de las islas. En condiciones favorables, el coral es capaz de un crecimiento explosivo, ocupando cualquier espacio disponible a profundidades de 120 m (Grigg, 2003). En un estudio sobre el estado de las poblaciones de coral negro en Hawái (*Antipathes dichotoma* y *A. grandis*) entre 30-110 m de profundidad se encontró que muchos de los corales estaban siendo invadidos por el coral Copo de Nieve. En 2001, un estudio en los alrededores de Maui reveló que el coral había asfixiado hasta el 90% del coral negro que se cultiva comercialmente (Kahng & Grigg, 2005).

Es una especie que compite por espacio con otras especies bentónicas como el coral copa naranja *Tubastraea coccinea* en Brasil (Mizrahi *et al.*, 2017), otros octocorales de los

géneros *Pacifigorgia* y *Leptogorgia* en arrecifes del Pacífico Colombiano (Sánchez & Ballesteros, 2014) causando un cambio en la estructura de las comunidades arrecifales. Esto puede alterar los ciclos de desarrollo de otras especies que dependen de alguna manera de las especies de coral nativas.

iii. Impactos a actividades productivas

No hay registros de que esta especie cause afectaciones a actividades productivas.

iv. Impactos económicos

En Hawái, la invasión de *Carijoa riisei* en lechos de Coral Negro frente a Maui, combinada con la recolección intensificada, ha contribuido a una reducción de ~25% en la biomasa de los corales (Grigg, 2004). Estos corales son cosechados comercialmente para la fabricación de joyas y adornos. La actividad de extracción de coral negro (*Antipathes dichotoma* y *A. grandis*) en las islas hawaianas se valoró en unos \$30 millones de dólares por año (Grigg, 2004). Este mismo autor recomienda cambios en las cuotas de cosecha y límites de tamaño para ajustarse al aumento de la mortalidad y la disminución del reclutamiento de los corales negros.

No hay registros de que esta especie cause afectaciones a otras actividades económicas como cultivos o turismo. Sin embargo, puede adherirse y crecer sobre estructuras como encierros marinos que se utilizan para maricultivos, lo que puede repercutir en un incremento del tiempo y costo de mantenimiento de las estructuras para cultivo.

v. Otros impactos

Ninguno.

7.6. Control y mitigación

No se ha encontrado un método práctico para controlarlo. *Carijoa riisei* ha sido descrita como la especie más invasiva de todos los invertebrados marinos no indígenas en Hawái (Toonen, 2004). Toonen (2004) señala que *C. riisei* tiene características únicas que ayudan a su dispersión a través de vectores marítimos. La investigación sobre su sistema reproductivo y el desarrollo larvario son un requisito primordial en el desarrollo de una estrategia de manejo eficaz dirigida a prevenir la propagación y la contención de las poblaciones existentes.

En Colombia, se determinó que el proceso de remoción de *C. riisei* no favorece el control del crecimiento del mismo, por el contrario, los resultados sugieren que la poda de las ramas promueve el rápido crecimiento y expansión de los estolones (Rincón-Díaz & Chasqui-Velasco, 2016), por lo que es necesario buscar otras alternativas para su control. Otros estudios han demostrado que la época de mayor presencia, abundancia y afectación de *C. riisei* es el segundo periodo del año, época caracterizada por un aumento en la temperatura superficial del mar alcanzando valores cercanos a los 30°C (Ballesteros, 2012). Las altas

temperaturas, pueden estar contribuyendo no solo al aumento en abundancia de *C. riisei* sino también a su éxito en el proceso de recuperación y expansión. Mejía *et al.* (2014) indicaron que una variación en la abundancia de *C. riisei* está relacionada con la temperatura del agua y afirmaron que esta abundancia disminuye en zonas profundas en periodos fríos (diciembre-marzo), manteniendo solo las poblaciones someras durante esa temporada. Tomando en cuenta esta información se puede considerar que durante el periodo de bajas temperaturas un programa de remoción puede ser más efectivo.

Un programa de investigación apoyado por Sea Grant y el Laboratorio de Investigación Submarina de Hawái (HURL) está en marcha para estudiar los impactos ecológicos de *C. riisei* en las comunidades de arrecifes de coral de aguas profundas y poco profundas de Hawái (Global Invasive Species Database, 2018). Por otro lado, se estudia el potencial de agentes naturales como bio-control, sin embargo, aún se requieren más investigaciones antes de implementar un programa de manejo con otras especies (Kahng, sin fecha).

7.7. Normatividad

México no cuenta con una normatividad específica que regule la introducción de especies marinas no nativas transportadas como larva en el agua de lastre o como juveniles y adultos en los cascos de las embarcaciones (Okolodkov *et al.*, 2007). Sin embargo, es uno de los países firmantes del Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (Convenio BWM) (OMI, 2007). Esto es de gran relevancia considerando que la vía de introducción más viable es el transporte de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones. Por lo tanto, tiene la responsabilidad de cumplir las normativas establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) (Okolodkov & García-Escobar, 2014).

El Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques entró en vigor el 8 septiembre de 2017, con el objetivo general de combatir la propagación de especies acuáticas invasivas, que pueden ocasionar estragos en los ecosistemas locales, afectar a la diversidad biológica y provocar considerables pérdidas económicas. La OMI precisó que, de conformidad con los términos del convenio, se exigirá que los buques gestionen su propia agua de lastre para extraer o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos existentes en el agua de lastre y los sedimentos, o que eviten la toma o la descarga de los mismos. Con la entrada en vigor del Convenio sobre gestión del agua de lastre no solo se reducirá el riesgo de invasiones de especies foráneas a través del agua de lastre, también se proporcionará un entorno equitativo para el transporte marítimo internacional, facilitando normas claras y sólidas para la gestión del agua de lastre de los buques, según el comunicado. En virtud de este convenio, todos los buques en tráfico internacional deben gestionar su agua de lastre y los sedimentos siguiendo determinadas normas, de conformidad con un plan específico de gestión del agua de lastre. Todos los buques también tendrán que llevar a bordo un libro registro del agua de lastre y un certificado internacional de gestión del agua de lastre (OMI, 2017).

Además, este coral se puede vender activamente vía internet dentro del comercio de especies marinas para acuarios como especie ornamental y en algunos lugares como Brasil incluso como parte de los suvenirs o recuerdos (Gasparini *et al.*, 2004). Por lo tanto, mientras se continúe con la venta ilegal o sin registro de especies como *C. riisei*, especies como esta tienen altas posibilidades de continuar extendiéndose ampliamente por el mundo.

7.8. Resultados del Análisis de riesgo

El resultado de la evaluación de riesgo básica (BRA) para el coral *Carijoa riisei* en el Pacífico mexicano fue de 28.0, el cual es equivalente a un riesgo Alto (Tabla 7.1., Anexo 7). El puntaje de la evaluación de riesgo básico más la evaluación de cambio climático (BRA+CCA) fue de 36.0, lo que equivale a un riesgo Alto para esta especie considerando predicciones a futuro de las condiciones ambientales en los océanos. Los resultados de ASK-ISK están basados en un intervalo de calibración de los puntajes de riesgo Bajo = -20, 1; riesgo Medio = 1, 28; y riesgo Alto = 28, 68, para los puntajes obtenidos en los análisis BRA y CCA.

Estas predicciones se concentran principalmente en el aumento de la temperatura promedio de los océanos, lo cual puede ser un factor que favorezca el asentamiento de *Carijoa riisei* (Cheng *et al.*, 2019; Zana *et al.*, 2019). Los niveles de confianza para las preguntas del análisis fueron altos (0.88 para BRA+CCA, 0.89 para BRA y 0.83 para CCA). Los niveles de afectación resultaron altos para los tres sectores evaluados, sin embargo, los rasgos nocivos de la especie o población obtuvo el mayor de estos (12 pts).

Tabla 7.1. Estadísticas obtenidas del análisis de riesgo del octocoral *Carijoa riisei* con la herramienta AS-ISK.

| Calificación | |
|---|-------------|
| BRA | 28.0 |
| Resultado BRA | Alto |
| BRA+CCA | 36.0 |
| Resultado BRA+CCA | Alto |
| Componentes de la calificación | |
| A. Biogeográfico/Histórico | 9.0 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 0.0 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 2.0 |
| 3. Invasora en otros sitios | 7.0 |
| B. Biología/Ecología | 19.0 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 9.0 |
| 5. Utilización de recursos | 0.0 |
| 6. Reproducción | 1.0 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 6.0 |
| 8. Atributos de tolerancia | 3.0 |
| C. Cambio climático | 8.0 |
| 9. Cambio climático | 8.0 |

| Preguntas respondidas | |
|---|-------------|
| Total | 55 |
| A. Biogeográfico/Histórico | 13 |
| 1. Domesticación/Cultivo | 3 |
| 2. Clima, distribución y riesgo de introducción | 5 |
| 3. Invasora en otros sitios | 5 |
| B. Biología/Ecología | 36 |
| 4. Rasgos no deseables (o persistencia) | 12 |
| 5. Utilización de recursos | 2 |
| 6. Reproducción | 7 |
| 7. Mecanismos de dispersión | 9 |
| 8. Atributos de tolerancia | 6 |
| C. Cambio climático | 6 |
| 9. Cambio climático | 6 |
| Sectores afectados | |
| Comercial | 11 |
| Ambiental | 10 |
| Rasgos nocivos de la especie o población | 20 |
| Umbrales | |
| BRA | 28 |
| BRA+CCA | 28 |
| Confianza | |
| BRA+CCA | 0.88 |
| BRA | 0.89 |
| CCA | 0.83 |

7.9. Resumen y conclusiones

Cuando se reportó por primera vez en Hawái, *Carijoa riisei* se consideró inofensivo y se le prestó poca atención, sin embargo, ahora se considera el invertebrado marino invasor más perjudicial de estas islas. Es evidente que en los últimos 60 años se ha incrementado considerablemente los registros a nivel mundial y de la misma forma el área de distribución de esta especie.

En los puertos se encuentran diversas estructuras de concreto que facilitan el asentamiento y desarrollo de esta especie como son pilotes, muelles, escolleras, etc. Este coral se ha registrado creciendo en la escollera de la playa San Pedrito y se registraron algunas colonias creciendo en el casco del barco hundido San Luciano frente a la Playa La Boquita, Manzanillo. Es muy probable que este coral ya se encuentre en otros puertos y no se ha reportado. La falta de registros puede ser debido a las condiciones limitantes que imperan en los puertos para realizar la búsqueda mediante buceo autónomo (poca visibilidad, contaminación, riesgo por el tráfico de embarcaciones, falta de interés científico, etc.) y la falta de investigación dirigida a estos lugares.

Debido al grado de invasión que se conoce hasta el momento en el Pacífico central mexicano, parece factible realizar un control de la especie mediante la extracción directa de las colonias, sin embargo, es necesario continuar con estudios científicos enfocados en

la biología y ecología de la especie. El grado de invasión de la especie al parecer se encuentra en una etapa temprana, ya que solo se han encontrado solo unas pocas colonias en dos localidades de Manzanillo (Playa San Pedrito y Playa La Boquita). Por lo que, el desarrollo e implementación de un protocolo de detección y control de la especie resulta imprescindible para estos fines.

Como se ha recomendado para otras especies invasoras marinas en México es importante que se constituya la Red de especies acuáticas exóticas del Pacífico mexicano (Tovar-Ávila & Yáñez-Rivera, 2012). Esta red debe estar constituida por representantes de diferentes sectores sociales como pescadores, acuicultores, prestadores de servicios turísticos acuáticos, pesca deportiva, inspectores de comités estatales de sanidad acuícola, personal de marinas y puertos, personal de gobierno federal, estatal y personal académico, con el objetivo de generar conocimiento, divulgar la información, desarrollar e implementar estrategias para el control de especies exóticas introducidas. Así mismo, es importante la capacitación de los diferentes actores sociales en la detección de estas especies.

Finalmente, resulta de gran importancia continuar con un programa de monitoreo en el puerto de Manzanillo y de búsqueda en otros puertos de México para descartar la presencia del coral en otras zonas, con el objetivo de evitar un grado de infestación mayor.

7.10. Referencias

- Ballesteros, D. C.** 2012. Efecto de la Variación Térmica en el crecimiento de *Pacifigorgia* spp. (Octocorallia: Gorgoniidae) frente al deterioro colonial y competencia de la especie invasora *Carijoa Riisei* en el Pacífico colombiano. Tesis M.Sc. Ciencias Biológicas., Universidad de los Andes, Bogotá. 35 pp.
- Barbosa, T. M., Gomes, P. B., Bergeron, A. S., Santos, A. M., Chagas, C., Freitas, E. M. S. & Perez, C. D.** 2014. Comparisons of sexual reproduction in *Carijoa riisei* (Cnidaria, Alcyonacea) in South Atlantic, Caribbean, and Pacific areas. *Hydrobiologia* 734: 201-212.
- Bayer, F. M.** 1956. Octocorallia. En: Moore, R. C. (Ed). *Treatise on invertebrate paleontology part F: Coelenterata*. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence.
- Bayer, F. M.** 1961. The shallow- water Octocorallia of the West Indian Region. *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands* 12. 373 pp., 27 pls., 101 figs.
- Bayer, F. M.** 1981. On some genera of stoloniferous octocorals (Coelenterata: Anthozoa), with descriptions of new taxa. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 94(3): 878-901.
- Bruto-Costa, L. V., Bezerra, L. E. & Pérez, C. D.** 2014. The octocoral *Carijoa riisei* (Cnidaria, Anthozoa) as a macro-epibiont of the crab *Mycrophrys interruptus* (Crustacea, Brachyura, Majidae) in northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 9(2): 141-144.
- Buchan, L. A., & Padilla, D. K.** 1999. Estimating the probability of long-distance overland dispersal of invading aquatic species. *Ecological Applications* 9: 254-265.

Cairns, S. D. & Bayer, F. M. 2009. Octocorallia (Cnidaria) of the Gulf of Mexico, Pp. 321–331. En: *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Felder, D.L. & Camp, D.K. (Eds.). Texas A&M University Press, College Station, Texas.

Calcinai, B., Bavestrello, G. & Cerrano, C. 2004. Dispersal and association of two alien species in the Indonesian coral reefs: the octocoral *Carijoa riisei* and the demosponge *Demapsamma anchorata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 84: 937-941.

Carlton, J.T. & Eldredge, L. 2009. Marine bioinvasions of Hawaii: The introduced and cryptogenic marine and estuarine animals and plants of the Hawaiian archipelago. *Bishop Museum Bulletin in Cultural and Environmental Studies* 4: 1-202.

Castro, C. B., Medeiros, M. S. & Loiola, L. L. 2010. Octocorallia (Cnidaria: Anthozoa) from Brazilian reefs. *Journal of Natural History* 44: 763-827.

Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z. & Trenberth, K. E. 2019. How fast are the oceans warming?. *Science* 363(6423): 128-129.

Coles, S. L., Kandel, F. L. M., Reath, P. A., Longenecker, K. & Eldredge, L. G. 2006. Rapid Assessment of Nonindigenous Marine Species on Coral Reefs in the Main Hawaiian Islands. *Pacific Science* 60: 483-507.

Colin, P. L. & Anderson, L. 1995. Tropical Marine Invertebrates. Coral Reef Press, Beverly Hills. 296 pp.

Collin, R., Díaz, M. C., Norenburg, J., Rocha, R. M., Sánchez, J. A., Schulze, M., Schwartz, A. & Valdés, A. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas Del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science* 41(3): 638-707.

Concepcion, G. T., Crepeau, M. W., Wagner, D., Kahng, S. E. & Toonen, R. J. 2008. An alternative to ITS, a hypervariable, single-copy nuclear intron in corals, and its use in detecting cryptic species within the octocoral genus *Carijoa*. *Coral Reefs* 27: 323-336.

Concepcion, G. T., Kahng, S. E., Crepeau, M. W., Franklin, E. C., Coles, S. L. & Toonen, R. J. 2010. Resolving natural ranges and marine invasions in a globally distributed octocoral (genus *Carijoa*). *Marine Ecological Progress Series* 401: 113-127.

Cortés, J., Enochs, I. C., Sibaja-Cordero, J., Hernández, L., Alvarado, J. J., Breedy, O., Cruz-Barraza, J. A. et al. 2017. Marine Biodiversity of Eastern Tropical Pacific Coral Reefs. En: Glynn et al. (Eds). *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific*. Springer, 203-250.

Costa, D. C. 2013. O octocoral *Carijoa riisei* (Duchassaing & Michelotti, 1860) como substrato biogénico no litoral pernambucano através da análise da carcinofauna associada. Dissertação de Mestre em Saúde Humana e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco, 45 pp.

Deichmann, E. 1936. The Alcyonaria of the western part of the Atlantic Ocean. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology* 53: 1-317.

- Devictor, S. T. & Morton, S. L.** 2010. Identification guide to the shallow water (0–200 m) octocorals of the South Atlantic Bight. *Zootaxa* 2599: 1–62.
- Dhivya, P., Sachithanandam, V. & Mohan, P. M.** 2012. New record of *Carijoa riisei* at Wandoor-Mahatma Gandhi Marine National Park (MGMNP), Andaman and Nicobar Islands, India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 41(3): 212-214.
- Edwards, A. & Lubbock, R.** 1983. The ecology of Saint Paul's Rocks (Equatorial Atlantic). *Journal of Zoology* 200: 51-69.
- Forman, R. T. T.** 1997. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Fay, M. & Sala, E.** 2014. Marine communities on oil platforms in Gabon, West Africa: high biodiversity oases in a low biodiversity environment. *PLoS ONE* 9: e103709.
- Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E.** 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.
- Gasparini, J. L., Floeter, S. R., Ferreira, C. E. L & Sazima, I.** 2004. Marine Ornamental Trade in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 14: 2883-2899.
- GBIF.** 2018. GBIF Occurrence Download. Consultado el 12/12/2028 https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2270598
- Gil, M. A. & Pfaller, J. B.** 2016. Oceanic barnacles act as foundation species on plastic debris: implications for marine dispersal. *Scientific Reports* 6: 19987.
- Global Invasive Species Database.** 2018. Species profile: *Carijoa riisei*. Descargado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=694>, consultado el 11-12-2018.
- Grigg, R. W.** 2003. Invasion of a deep black coral bed by an alien species, *Carijoa riisei*, off Maui, Hawaii. *Coral Reefs* 22: 121-122.
- Grigg, R. W.** 2004. Harvesting impacts and invasion by an alien species decrease estimates of black coral yield off Maui, Hawaii. *Pacific Science* 58(1): 1-6.
- Gutiérrez, A. S.** 2010. Evaluación del impacto de una especie de octocoral invasora (*Carijoa riisei*) en el Pacífico Oriental Tropical. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Gutiérrez, A. S.** 2012. El invasor del Pacífico. *Hipótesis* 12: 6-7.
- Hoover, J. P.** 1999. *Hawai'i's sea creatures: a guide to hawai'i's marine invertebrates*. Mutual publishing, 366 pp.
- Kahng, S. E.** Sin fecha. *Carijoa riisei*: Fact Sheet Department of Oceanography, University of Hawaii.
- Kahng, S. E. & Grigg, R. W.** 2005. Impact of an alien octocoral, *Carijoa riisei*, on black corals in Hawaii. *Coral Reefs* 24: 556-562.

Kahng, S. E., Benayahu, Y., Wagner, D. & Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii. *Bulletin of Marine Science* 82: 1-17.

Lira, A. K. F., Naud, J. P., Gomes, P. B., Santos, A. M. & Perez, C. D. 2009. Trophic ecology of the octocoral *Carijoa riisei* from littoral of Pernambuco, Brazil. I. Composition and spatio-temporal variation of the diet. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89: 89-99.

Lu, J., Li, S-P., Wu, Y., & Jiang, L. 2018. Are Hong Kong and Taiwan stepping-stones for invasive species to the mainland of China? *Ecology Evolution* 8: 1966-1973.

Mejía, K., Zapata, F. & Young, L. 2014. Ecología de la especie invasora *Carijoa riisei* (Octocorallia, Clavulariidae) en el Parque Nacional Natural Gorgona. Tesis de grado. Universidad de Antioquia, Facultad de ciencias Exactas y Naturales. 39 pp.

Miller, J. A., Carlton, J. T., Chapman, J. W., Geller, J. B. & Ruiz, G. M. 2018. Transoceanic dispersal of the mussel *Mytilus galloprovincialis* on Japanese tsunami marine debris: An approach for evaluating rafting of a coastal species at sea. *Marine Pollution Bulletin* 132: 60-69.

Mizrahi, D., Pereira, S. F., Navarrete, S. A., Flores, A. A. V. 2017. Allelopathic effects on the sun-coral invasion: facilitation, inhibition and patterns of local biodiversity. *Marine Biology* 164: 139.

Okolodkov, Y. B. & García-Escobar, H. 2014. Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectivas para México. Pp. 55-79. En: Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México. Low-Pfeng, A. M., Quijón, P. A. & Peters-Recagno, E. M. SEMARNAT, INECC, México.

Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, R., Ibáñez, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. & Gutiérrez-Mendieta, F. J. 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* 11: 29-67.

OMI. 2007. Aplicación del Convención internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004. Resolución A.1005(25). Adoptada el 29 de noviembre de 2007. Organización Marítima Internacional. Asamblea 25° periodo de sesiones. 2 pp.

OMI. 2017. The GloBallast Story: Reflections from a Global Family. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme. GloBallast Monograph No. 25. 92 pp.

Padmakumar, K., Chandran, R., Yogesh-Kumar, J.S. & Sornaraj, R. 2011. *Carijoa riisei* (Cnidaria: Octocorallia: Clavulariidae), a newly observed threat to Gulf of Mannar coral biodiversity? *Current Science* 100(1): 35-37.

Prestridge, H. 2016. Biodiversity Research and Teaching Collections - TCWC Marine Invertebrates. Version 5.1. Texas A&M University Biodiversity Research and Teaching Collections. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/dfrwoh> accessed via GBIF.org on 2019-02-11. <https://www.gbif.org/occurrence/1234566470>.

Quintanilla, E., Wilke, T., Ramírez-Portilla, C., Sarmiento, A. & Sánchez, J. A. 2017. Taking a detour: invasion of an octocoral into the Tropical Eastern Pacific. *Biological Invasions* 19: 2583-2597.

Raghunathan, C., Venkataraman, K., Satyanarayana, Ch. & Rajkumar, R. 2013. An Invasion of Snowflake Coral *Carijoa riisei* (Duchassaing & Michelotti 1860) in Indian Seas: Threats to Coral Reef Ecosystem. En: Venkataraman, K., Sivaperuman, C. & Raghunathan, C. (Eds). *Ecology and Conservation of Tropical Marine Faunal Communities*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 381-393.

Rech, S., Borrell, Y. & García-Vazquez, E. 2016. Marine litter as a vector for non-native species: What we need to know. *Marine Pollution Bulletin* 113: 40-43.

Rech, S., Thiel, M., Borrell-Pichs, Y. J. & García-Vazquez, E. 2018. Travelling light: Fouling biota on macroplastics arriving on beaches of remote Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific Subtropical Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 137: 119-128.

Rincón-Díaz, M. N. & Chasqui-Velasco, L. H. 2016. Evaluación comparativa de la dinámica de crecimiento del octocoral invasor *Carijoa riisei* en el Chocó norte – Colombia. INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 37 pp.

Sánchez, J. A. 1994. Presencia de *Stylatula diadema* Bayer (Pennatulacea) y *Carijoa riisei* (Duchassaing & Michelotti) (Telestacea) en el Caribe suroccidental, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín* 23: 137-147.

Sánchez, J. A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62: 199-207.

SCT. 2019. Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0000016/video-comercial> (consultado el 11-02-2019).

Silveira, F. L. 1986. Aspectos da Biologia de *Lophogorgia punicea* (Milne Edwards & Haime, 1857) (Gorgonacea, Gorgoniidae) do Canal de São Sebastião, Estado de São Paulo. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 211 pp.

Suarez, A. V., Holway, D. A., & Case, T. J. 2001. Patterns of spread in biological invasions dominated by long-distance jump dispersal: Insights from Argentine ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98: 1095-1100.

Thomas, W. J. 1979. Aspects of the micro-community associated with *Telesto riisei*, an introduced alcyonarian species. MS Thesis, Zoology Dept., University of Hawaii.

Toonen, R. 2004. Reproduction and developmental characteristics of an alien soft coral (*Carijoa riisei*) in Hawaii (FY 2004-2005). Hawaii Institute of Marine Biology.

Toonen, R., Concepcion, G., Crepeau, M., Kahng, S. & Wagner, D. 2007. Ecology and management implications of an invasive soft coral species, *Carijoa riisei* in Hawaii. *Hawaii Institute of Marine Biology*, Coconut Island HI. Pp. 1-5.

Tovar-Ávila, M. A. & Yáñez-Rivera, B. 2012. Ficha técnica y análisis de riesgo de *Branchiomma bairdi* (McIntosh, 1885) (Polychaeta: Serpulidae). pp: 167-192. En: *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Low-Pfeng, A. M. & Peters-Recagno E. M. (Eds). Geomare, A. C., INESEMARNAT, México.

Tunnell, Jr. J. W., Chávez, E. A. & Withers, K. 2007. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico, Appendix 1*. Texas A&M University Press. Texas, pp. 141-148.

Wagner, D., Kahng, S. E. & Toonen, R.J. 2009. Observations on the life history and feeding ecology of a specialized nudibranch predator (*Phyllodesmium poindimiei*), with implications for biocontrol of an invasive octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 472: 64-74.

Yogesh-Kumar, J. S., Geetha, S., Satyanarayana, Ch., Venkataraman, K. & Kambo, R. D. 2014. New species of soft corals (Octocorallia) on the reef of Marine National Park, Gulf of Kachchh. *Journal of Pharmaceutical and Biological Research* 2: 50-55.

Zana, L., Khatiwala, S., Gregory, J. M., Ison, J. & Heimbach, P. 2019. Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(4): 1126-1131.

Zarco-Perelló, S., Mascaró, M., Garza-Pérez, R. & Simoes, N. 2013. Topography and coral community of the Sisal Reefs, Campeche Bank, Yucatán, México. *Hidrobiológica* 23(1): 28-41.

8. Anexos

Anexo 1. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Asterias amurensis*.

[AS-ISK v2 Informe Asterias amurensis.xlsx](#)

Nombre del Taxón: *Asterias amurensis*

A.- BIOGEOGRÁFICO/ HISTÓRICO

1.- 1.01.- **¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tienen registros de que esta especie sea cultivada.

CONFIANZA: Baja

2.- 1.02.- **¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Ningún uso humano valioso ha sido documentado. Se han sugerido incentivos de caza, como la captura y el secado para comercializarse como recuerdos (suvenir) en la costa australiana, sin embargo, no hay informes de que se lleve a cabo (Goggin, 1998).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Goggin, C.L., 1998. Proceedings of a meeting on the biology and management of the introduced seastar *Asterias amurensis* in Australian waters. Centre for Research on Introduced Marine Pests Tech Rep No. 15.

3.- 1.03.- **¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Dentro del género *Asterias* solo la especie *Asterias amurensis* se ha reportado como invasora (GISD, 2018).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: GISD. 2018. Global Invasive Species Database. <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=82&fr=1&sts=sss&lang=EN>, consultado el 10 de diciembre de 2018

2.- CLIMA, DISTRIBUCIÓN Y RIESGO DE INTRODUCCIÓN.

4.- 2.01.- **¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?**

RESPUESTA: Medio

JUSTIFICACIÓN: Si bien *Asterias amurensis* prefiere temperaturas de agua de 7-10°C, se ha adaptado a aguas australianas más cálidas de hasta 22°C. Normalmente se encuentra en aguas poco profundas de las costas protegidas y no se encuentra en los arrecifes o en áreas con acción de olas altas. La estrella de mar Japonesa es capaz de tolerar muchas temperaturas y una amplia gama de salinidades. A menudo se encuentra en los estuarios y en zonas cubiertas de lodo, arena o roca de zonas intermareales. La temperatura máxima es de 25°C y la mínima es de 0°C. El rango de salinidad para esta especie es de 18.7 a 41 ppm, mientras que la profundidad máxima a la que se han encontrado individuos es de 220 m (GISD, 2018). Estas condiciones se

pueden presentar en la región norte del Pacífico mexicano, en la costa Pacífica de Baja California y dentro del Golfo de California (Lavín, 1997). Por su ubicación el Pacífico mexicano es la región con mayor probabilidad de ser invadida por la estrella *Asterias amurensis*. Mediante la herramienta Climatch se encontró una similitud media en las condiciones climáticas entre la región del Pacífico oeste (área nativa) y el Pacífico de México (<https://climatch.cp1.agriculture.gov.au/climatch.jsp>).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: GISD. 2018. Global Invasive Species Database. <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=82&fr=1&sts=sss&lang=EN>, consultado el 10 de diciembre de 2018. Lavín, M.F. 1997. Contribuciones a la Oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana.

5.- 2.02.- ¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: En este trabajo se compilan estudios que describen las diferentes condiciones oceanograficas presentes en México con base en información generada por especialistas (Lavín, 1997).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Lavín, M.F. 1997. Contribuciones a la Oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana

6.- 2.03.- ¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay reportes en vida libre de este taxón en México (GBIF, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: GIFB. 2018. GBIF Occurrence download https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=518750. Consultado el 14 de agosto de 2018.

7.- 2.04.- ¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No se ha registrado en el Pacífico Mexicano (GBIF, 2018). Sin embargo, puede ser introducida a través del agua de lastre de embarcaciones, de manera accidental por botes recreativos como veleros, o yates, como fauna asociada a desechos marinos o como larvas que flotan son transportados por las corrientes marinas (Byrne et al., 1997, 2013; Dommissé & Hough, 2004; NOAA, 2017).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: GIFB. 2018. GBIF Occurrence download https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=518750. Consultado el 14 de agosto de 2018. Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685. Byrne, M., O'Hara, T. D. & Lawrence, J. M. 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). The Johns Hopkins University Press. Dommissé, M. & Hough, D. 2004. Controlling the Northern Pacific Seastar (*Asterias amurensis*) in Australia. Victorian Department of Sustainability and Environment (DSE), 52 pp. NOAA. 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program

8.- 2.05.- ¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La especie se tiene registrada en el Pacífico Noreste con mayor incidencia en la región de Alaska, con excepción de un registro en la isla Anacapa este, California, E.U. el cual es un registro esporádico (Casasovici & Brosens, 2017). Debido a que hay registros de esta especie en la costa oeste de Estados Unidos, hay una alta probabilidad de que pueda llegar a asentarse en la región norte del Pacífico mexicano. De la misma forma se encuentra un registro en la región de Florida, Estados Unidos, por lo que se presenta un alto riesgo de introducción a las costas de México.

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Casasovici, A. & Brosens, D. 2017. Diveboard - Scuba diving citizen science observations. Version 54.5. Diveboard. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/tnjrgy> accessed via GBIF.org on 2018-11-08. <https://www.gbif.org/occurrence/919316907>.

3.- INVASORA EN OTROS SITIOS

9.- 3.01.- ¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?

REPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie se ha reportado como introducida en la costa sureste de Australia, Tasmania, Alaska, en las islas Aleutianas, Europa y en el estado de Maine (USA) (Byrne et al., 1997). La estrella de mar Japonesa se descubrió por primera vez en Australia en la bahía de Port Phillip en 1995, donde su población aumentó a un estimado de 75 millones (± 15 SE) en el año 2000 (Parry & Cohen, 2001).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685. Parry, G.D., Cohen, B.F. 2001. The distribution, abundance and population dynamics of the exotic seastar *Asterias amurensis* during the first three years of its invasion of Port Phillip Bay. Report No. 33, Marine and Freshwater Research Institute, Queenscliff.

10.- 3.02.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La estrella de mar japonesa es considerada una plaga grave de organismos marinos nativos. Está implicado en el declive del Pez Mano Moteado (Spotted handfish) en peligro crítico (ver *Brachionichthys hirsutus* en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN) en Tasmania. Se alimenta de las masas de huevos del pez, o de las ascidias que los peces utilizan para desovar (NSW, 2019). En Australia, desde su introducción ha reducido considerablemente la abundancia del bivalvo *Fulvia tenuicostata* (Ross et al., 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: NSW. 2019. Department of Primary Industries. Northern Pacific Seastar - *Asterias amurensis*. <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/pests-diseases/marine-pests/found-in-australia/northern-pacific-seastar>. Consultado el 10 de junio de 2019. Ross, D.J., Johnson, C.R., Hewitt & C.L. 2002. Impact of introduced asteroids *Asterias amurensis* on survivorship of juvenile commercial bivalves *Fulvia tenuicostata*. *Marine Ecology Progress Series* 241: 99-112.

11.- 3.03.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuicultura?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La estrella de mar japonesa también se considera una plaga de la maricultura, que se asienta en palangres de vieiras, bolsas de cultivo, líneas de mejillones, ostras y jaulas de salmón (Byrne et al., 1997; ISSG, 2011; Byrne et al., 2013). La producción de ostras en algunas granjas marinas en el sureste de Tasmania

se ha visto afectada por la estrella de mar (NSW, 2019). En Japón, los brotes de estrellas de mar le costaron a la industria de la maricultura millones de dólares (NSW, 2019).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685. ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>. Byrne, M., O'Hara, T. D. & Lawrence, J. M. 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). The Johns Hopkins University Press). NSW. 2019. Department of Primary Industries. Northern Pacific Seastar - *Asterias amurensis*. <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/pests-diseases/marine-pests/found-in-australia/northern-pacific-seastar>. Consultado el 10 de junio de 2019.

12.- 3.04.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En Australia, los efectos económicos de esta especie aún se están evaluando en su totalidad, pero se piensa que, si su propagación continúa, las comunidades de sedimentos blandos a lo largo de la costa de Australia pueden verse comprometidas. *Asterias amurensis* tiene el potencial de establecer grandes poblaciones en nuevas áreas. Las estimaciones realizadas en Port Philip Bay (donde se detectaron por primera vez), indican que los números alcanzaron hasta 12 millones de individuos en dos años. En su área de distribución nativa, se sabe que pasan por ciclos de "caída y auge" que alcanzan una gran abundancia y luego un rápido declive (Byrne et al., 1997, 2013; NSW, 2019). La estrella de mar del Pacífico norte es una voraz comedora, que prefiere mejillones, vieiras y almejas. Comerá casi todo lo que pueda encontrar, incluidos los peces muertos y los desechos de peces (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685. NSW. 2019. Department of Primary Industries. Northern Pacific Seastar - *Asterias amurensis*. <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/pests-diseases/marine-pests/found-in-australia/northern-pacific-seastar>. Consultado el 10 de junio de 2019. Byrne, M., O'Hara, T. D. & Lawrence, J. M. 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). The Johns Hopkins University Press. ISSG, 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

13.- 3.05.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los efectos económicos negativos de las estrellas de mar japonesas son extensos. En su Japón natal, han devastado la industria de los mariscos. Es evidente que varias pesquerías se han visto afectadas negativamente: se ha producido una pérdida estimada de mil millones de dólares en la industria en Tasmania. Debido a que estas industrias pesqueras son importantes para la economía de la región, se han organizado varios "días de caza de estrellas de mar" en los que varios miles de estrellas de mar han sido retirados de las costas. También se encuentran en la lista de las 100 peores especies invasoras de la base de datos de especies invasoras globales (Ross et al., 2002; Hayes et al., 2005; Plan Nacional de Control para el Pacífico Norte Seastar *Asterias amurensis*, 2008; Stevens, 2012).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Ross, D. J., Johnson, C. R. & Hewitt, C. L. 2002. Impact of introduced asteroids *Asterias amurensis* on survivorship of juvenile commercial bivalves *Fulvia tenuicostata*. *Marine Ecology Progress Series* 241: 99-112. Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking

of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research. Plan Nacional de Control para el Pacífico Norte Seastar *Asterias amurensis*, 2008. Stevens, C. 2012. "ISSG Database: Ecology of *Asterias amurensis*" (On-line). Global Invasive Species Database. Accessed March 18, 2012 at <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=82&fr=1&sts=&lang=EN>.

B.- BIOLOGÍA / ECOLOGÍA

14.- 4.01.- ¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se ha reportado que sea peligrosa o de riesgo para la salud humana (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: ISSG, 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

15.- 4.02.- ¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La estrella de mar japonesa es un depredador voraz, que prefiere mejillones, vieiras y almejas. Puede comer casi todo lo que pueda encontrar como moluscos gasterópodos, percebes, cangrejos, crustáceos, gusanos, equinodermos, ascidias, erizos de mar, chorros de mar y otras estrellas de mar, peces muertos y los desechos de pescado, incluidos individuos de la misma especie si la fuente de alimento se agota (Lockhart & Ritz, 1998).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Lockhart, S.J. & Ritz, D.A. 1998. Feeding rates of the introduced sea star, *Asterias amurensis* (Lütken), in Tasmania. pp 267-272. En: Echinoderms: San Francisco (R. Mooi & M. Telford, eds.) Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

16.- 4.03.- ¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información. Puede afectar poblaciones de bivalvos como almejas, ostras, etc.

CONFIANZA: Baja

17.- 4.04.- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Asterias amurensis* prefiere temperaturas de agua de 7-10°C, aunque se ha adaptado a aguas más cálidas de 22°C (en Australia). Normalmente se encuentra en aguas poco profundas de las costas protegidas y no se encuentra en los arrecifes o en áreas con acción de olas altas. La estrella de mar es capaz de tolerar muchas temperaturas y una amplia gama de salinidades. A menudo se encuentra en los estuarios y en zonas cubiertas de lodo, arena o roca de zonas intermareales. La temperatura máxima para *A. amurensis* es de 25°C y la mínima es de 0°C. El rango de salinidad para esta especie es de 18.7 a 41 ppm, mientras que la profundidad máxima a la que se han encontrado individuos es de 220 m (ISSG, 2018).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: ISSG, 2018. Global Invasive Species Database. 2018. <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=82&fr=1&sts=sss&lang=EN>, consultado el 10 de diciembre de 2018.

18.- 4.05.- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Asterias amurensis* puede alterar las interacciones y redes tróficas, debido a que es una especie generalista muy voraz puede dominar un ambiente, competir con otras especies, limitando o reduciendo los recursos para las especies nativas y puede depredar especies nativas (Byrne et al., 1997; Ross et al., 2002, 2003, 2004; Hayes et al., 2005).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M.G. & Wolf, B. 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127: 637-685. Ross, D. Jeff; Craig R. Johnson & Chad L. Hewitt. 2002. Impact of introduced seastars *Asterias amurensis* on survivorship of juvenile commercial bivalves *Fulvia tenuicostata*. *Marine Ecology Progress Series* 241: 99-112. Ross, J. D., Craig R. Johnson & Chad L. Hewitt., 2003. Assessing the ecological impacts of an introduced seastar: the importance of multiple methods. *Biological Invasions* 5: 3–21. Ross, D. J., Johnson, C. R., Hewitt, C. L. & Ruiz, G. M. 2004. Interaction and impacts of two introduced species on soft-sediment marine assemblage in SE Tasmania. *Marine Biology* 144: 747-756. Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research.

19.- 4.06.- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los efectos económicos negativos son extensos. En Japón, ha devastado la industria de los mariscos (NSW, 2007). En Australia, los efectos económicos de la especie aún se están evaluando en su totalidad, pero se piensa que si su propagación continúa; las comunidades asociadas a sedimentos blandos a lo largo de la costa de Australia pueden verse comprometidas. Es evidente que varias pesquerías se han visto afectadas negativamente: se ha producido una pérdida de mil millones de dólares en la industria en Tasmania. Debido a que estas industrias pesqueras son importantes para la economía de la región, se han organizado varios "días de caza de estrellas de mar" en los que se han retirado varios miles de estrellas de mar de las costas (NSW, 2007; NIMPIS, 2010; Byrne et al., 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: NSW. 2007. New South Wales (NSW) Department of Primary Industries. Northern Pacific Seastar - *Asterias amurensis*; NIMPIS. 2010. *Asterias amurensis* general information. National Introduced Marine Pest Information System; Byrne, M., O'Hara, T.D. & Lawrence, J.M. 2013. *Asterias amurensis*. pp. 174-180. En: Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. J.M. Lawrence (Ed.). Johns Hopkins).

20.- 4.07.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información.

CONFIANZA: Baja

21.- 4.08.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se sabe que las estrellas del género *Asterias* son hospederas de varios parásitos (Goggin & Bouland, 1997). *Asterias amurensis* alberga la bacteria *Colwellia asteriadis*, aunque no se han descrito efectos negativos en la estrella de mar debido a la presencia de este microbio o en otras especies (Choi et al., 2010).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Goggin, C.L. & Bouland, C. 1997. The ciliate *Orchitophrya* cf. *stellarum* and other parasites and commensals of the northern Pacific sea star *Asterias amurensis* from Japan. *International Journal of Parasitology* 27: 1415-1418. Choi, E.J., Kwon, H.C., Koh, H.Y., Kim, Y.S. & Yang, H.O. 2010. *Colwellia asteriadis* sp. nov., a marine bacterium isolated from the starfish *Asterias amurensis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 60: 1952-1957.

22.- 4.09.- **¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede crecer hasta 50 cm de diámetro (GISD, 2019).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: GISD. 2019. Global Invasive Species Database. Species profile: *Asterias amurensis*. Descargado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=82>. Consultado el 29 de enero de 2019.

23.- 4.10.- **¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie asociada al fondo marino o a estructuras fijas. Estas estrellas de mar muestran un comportamiento fototáctico positivo, moviéndose hacia la luz. En situaciones donde una parte del organismo está sombreada y otra parte está iluminada, se ha visto que el animal se mueve hacia el área iluminada. A medida que se mueven, los animales exhiben lo que se conoce como una "postura de avance típica". Esto significa que se mueve con un rayo particular de su cuerpo en cierta dirección y el resto del organismo sigue lentamente. Las formas adultas y juveniles de estas estrellas de mar, ambas tienen una movilidad limitada. Cuando se mueven, caminan sobre sus pies ambulacrales. Sin embargo, las etapas larvales nadan libremente y se sabe que viajan usando corrientes de agua o como fauna asociada a desechos marinos (Byrne et al., 2013; NOAA, 2017).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., O'Hara, T.D. & Lawrence, J.M. 2013. *Asterias amurensis*. pp. 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. J.M. Lawrence (Ed.). Johns Hopkins; NOAA. 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program.

24.- 4.11.- **¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las estrellas de mar japonesas son una especie invasora en algunas áreas y un depredador obligado cuya presencia tiene un gran impacto en la infauna bentónica, incluidos los moluscos, crustáceos, equinodermos y otros organismos que son atacados por esta estrella de mar. Está implicado en el declive del pez-mano moteado (*spotted handfish*) en peligro crítico (ver *Brachionichthys hirsutus* en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN) en Tasmania. Esta especie fue común en el estuario del río Derwent, en Tasmania, hasta mediados de los años ochenta, cuando la especie cayó en un declive catastrófico. Aunque no está probado, se supone que la introducción en Tasmania, en ese tiempo, de la estrella de mar *Asterias amurensis*, pudo ser la clave de la diezma de la población de *B. hirsutus*. Estas estrellas de mar son voraces predadores de conchas, y es probable que también coman los huevos del "pez-mano" y las ascidias dónde fijan éstos sus huevos (Bruce & Green, 1998; NSW, 2007).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIAS: Bruce, B.D. & Green, M.A. 1998. The spotted handfish 1999-2001 Recovery plan. www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/publications/recovery/spotted-handfish/. NSW. 2007. Department of Primary Industries. Northern Pacific Seastar - *Asterias amurensis*. http://www.fisheries.nsw.gov.au/threatened_species/general/content/fn_northern_pacific_seastar.htm.

25.- 4.12.- **¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha estimado que durante el asentamiento de la población de *A. amurensis* en Port Phillip Bay, se habría requerido una población de aproximadamente 35 estrellas de mar en 1997 para establecer la población de 350,000 estrellas de mar que se reclutaron a principios de 1998. Se desconoce el número real de animales que dieron origen al primer reclutamiento conocido de juveniles. Pero durante 1998, aproximadamente 1 de cada 100,000 estrellas sobrevivió desde el huevo hasta los 9 meses de edad. Sin embargo, debido a variaciones en la supervivencia durante los primeros 9 meses de vida en esos mismos años, el tamaño estimado de la población inicial debe considerarse como una estimación aproximada (Parry & Cohen, 2001).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Parry, G.D. & Cohen, B.F. 2001. Factors influencing the distribution and abundance of the exotic sea star *Asterias amurensis* during the early phase of its establishment in Port Phillip Bay, Southern California. In Abstracts: Second International Conference on Marine Bioinvasions, March 9-11, 2001. New Orleans, LA http://massbay.mit.edu/publications/marinebioinvasions/mbi2_abstracts.pdf.

5.- UTILIZACIÓN DE RECURSOS

26.- 5.01.- **¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En la NOM-059-SEMARNAT-2010 se tienen registradas siete especies de bivalvos bajo protección, de las cuales *Spondylus calcifer*, *Pinctada mazatlanica* y *Tivela stultorum* (todas especies del Pacífico) son más susceptibles a ser afectadas por una introducción de la estrella *Asterias amurensis* (DOF, 2010).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

27.- 5.02.- **¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se sabe que las estrellas de mar japonesas son depredadores voraces con una dieta variada, que esencialmente comen cualquier tipo de animal que encuentren. Los bivalvos, como los mejillones, las vieiras y las almejas, comprometen la mayor parte de la dieta de esta especie. Se sabe que separan las valvas de estos organismos con sus brazos y luego vuelven sus estómagos a la cavidad para digerir sus presas. Esta especie también se alimenta de gasterópodos, cangrejos y lapas. En ocasiones, se ha visto que exhiben un comportamiento canibalístico cuando las fuentes de alimentos son particularmente bajas. Esta especie también se ha observado excavando presas enterradas debajo del sustrato y alimentándose de algas, por lo que pueden causar reducciones en estos recursos que son aprovechados por otras especies nativas como peces (Introduced Marine Aquatic Invaders - A Field Guide (On-line), 2012).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Introduced Marine Aquatic Invaders - A Field Guide (On-line). 2012. Department of Fisheries, Western Australia. <http://www.fish.wa.gov.au/docs/pub/IMPMarine/IMPMarinePage06a.php#03>. Consultado el 20 de marzo de 2012.

6.- REPRODUCCIÓN

28.- 6.01.- ¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No exhiben cuidado parental. Los gametos se liberan libremente en el medio ambiente y los descendientes se desarrollan independientemente de los padres. Las hembras pueden reproducirse alrededor de los 12 meses de edad cuando alcanza alrededor de los 10 cm de diámetro (Buttermore et al., 1994; Murabe et al., 2007; GISD, 2019).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Buttermore, R.E., Turner, E. & Morrice, M.G. 1994. The introduced northern Pacific seastar *Asterias amurensis* in Tasmania. *Memoirs of the Queensland Museum* 36: 21–25; Murabe, N., H. Hatoyama, K. Mieko, H. Kaneko & Y. Nakajima. 2007. Adhesive papillae on the brachiolar arms of brachiolaria larvae in two starfishes, *Asterina pectinifera* and *Asterias amurensis*, are sensors for metamorphic inducing factors: Development, Growth, and Differentiation, 49(8): 647-656. GISD. 2019. Global Invasive Species Database. Species profile: *Asterias amurensis*. Descargado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=82>. Consultado el 29 de enero de 2019.

29.- 6.02.- ¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: El factor más importante para el desarrollo de *Asterias amurensis* es la temperatura. Para el desove la temperatura debe oscilar entre los 12 y 16°C. Las larvas pueden permanecer en el plancton durante 2 o 3 meses y la temperatura optima para el desarrollo larvario se reporta a los 15°C (Lee et al., 2004; Paik et al., 2005).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lee, C.H., Ryu, T.K. & Chol, J.W. 2004. Effects of water temperature on embryonic development in the northern Pacific asteroid, *Asterias amurensis*, from the southern coast of Korea. *Invertebrate reproduction and development* 45: 109-116; Paik, S.G., Park, H.S., Yi, S.K., Yun, S.G. 2005. Developmental duration and morphology of the sea star *Asterias amurensis* in Tongyeong, Korea. *Ocean Science Journal* 40: 1-6

30.- 6.03.- ¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACION: No se encuentran otras especies del género *Asterias* que sean nativas en la región del Pacífico mexicano tropical con las cuales pudiera hibridarse de forma natural (Honey-Escandón et al., 2008), en el Caribe mexicano (Laguarda-Figueras et al., 2005) o en el Golfo de México (Durán-González et al., 2005).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl. 3): 57-73. Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F.A., Durán-González, A., Ahearn, C.G., Buitrón-Sánchez, B.A. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl. 3): 109-122. Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F.A., Buitrón-Sánchez, B.A., Ahearn, C.G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl. 3): 53-68.

31.- 6.04.- ¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Asterias amurensis* es capaz de reproducirse asexualmente, regenerándose desde el disco central. Los individuos dañados pueden regenerarse si quedan al menos un brazo y parte del disco central. Los individuos grandes (> 40 centímetros de diámetro) son capaces de separar las extremidades como un mecanismo de defensa (autotomía) cuando están sujetos a ataques o estrés. Siempre que esté presente una sección del disco central, la regeneración puede ocurrir tanto desde el miembro separado como desde el individuo restante. La tasa de crecimiento de los brazos es de aproximadamente 6 milímetros por mes en el primer año, después de lo cual el crecimiento se reduce a aproximadamente 1 a 2 milímetros por mes. Los individuos completamente desarrollados pueden alcanzar los 40 a 50 centímetros de diámetro, y tiene una vida útil promedio de 2 a 3 años, con una edad máxima registrada de 5 años (NIMPIS, 2016).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: NIMPIS. 2016. *Asterias amurensis* (northern Pacific seastar) species summary, National Introduced Marine Pest Information System, available at daff.gov.au/marinepests/index.cfm?fa=main.spDetailsDB&sp=6000005721, consultado 15 Marzo 2016.

32.- 6.05.- ¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Los juveniles crecen hasta 6 mm por mes en el primer año y continúan creciendo 1-2 mm por mes hasta la madurez. La hembra puede reproducirse aproximadamente a los 12 meses de edad, cuando tienen alrededor de 10 cm de diámetro (Byrne et al., 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., O'Hara, T.D. & Lawrence, J.M. 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). Johns Hopkins.

33.- 6.06.- ¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran numero de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las hembras son capaces de generar hasta 20 millones de huevos. La fertilización es externa y las larvas permanecen en una etapa planctónica hasta 120 días antes de asentarse y metamorfosearse en estrellas de mar juveniles. La vida media del esperma a 10°C > 2 horas, a 17°C < 30 minutos (NIMPIS, 2010; Byrne et al., 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: NIMPIS. 2010. *Asterias amurensis* general information. National Introduced Marine Pest Information System. Byrne, M., O'Hara, T.D. & Lawrence, J.M. 2013. *Asterias amurensis*. Pp: 174-180. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. Lawrence, J.M. (Ed). Johns Hopkins.

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: >10

JUSTIFICACIÓN: Puede requerir hasta 12 meses para llegar a la etapa reproductiva. La larva comienza a alimentarse una vez que se forman los canales gastrovasculares, y en esta etapa se llama bipinnaria. Esta etapa posteriormente desarrolla brazos braquiales, y tres de ellos se combinan con un disco adhesivo central para formar el complejo braquiolar. Esto marca la transición de la larva al estado de braquiolaria. Una larva braquiolariana puede permanecer en la columna de agua durante aproximadamente 120 días antes de que finalmente se asiente y sufra metamorfosis en la estrella de mar adulta. La metamorfosis es inducida por la

detección de factores inductores metamórficos por las papilas adhesivas en los brazos braquiolares, como las señales químicas de las estrellas de mar adultas en el medio ambiente. Una larva necesita desde 41 días hasta alrededor de 120 días, desde el momento de la fertilización, hasta convertirse en una estrella de mar adulta. *A. amurensis* entra en condiciones de reproducción por primera vez cuando presenta una longitud de brazo de 50 a 55 mm. Todo este proceso depende de la temperatura del agua en la que se está desarrollando la estrella de mar; cuanto más caliente esté el agua, más rápida será la tasa de desarrollo (Byrne et al., 1997; Paik et al., 2005).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127(4): 673-685; Paik, S., Park, H., Yi, S. & Yun, S. 2005. Developmental duration and morphology of the sea star *Asterias amurensis* in Tongyeong, Korea. *Ocean Science Journal* 40(3): 65-70.

7.- MECANISMOS DE DISPERSIÓN

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Comercio de alimentos vivos: Se puede transmitir a través del agua de mar por el comercio de peces u otros organismos vivos. Agua de lastre de barco: Las larvas se pueden distribuir a través del agua de lastre. Infestación del casco del bote/barco: Se puede dispersar junto con la fauna que se adhiere en los cascos de los barcos. Translocación de maquinaria/equipo: Puede dispersarse involuntariamente a través de embarcaciones recreativas. Transporte de material como hábitat: Se puede asentar en palangres de pesca o cultivo, sacos de semilla, líneas de mejillones y ostras y jaulas de peces, o como fauna asociada a desechos marinos (Hayes et al., 2005; NOAA, 2017).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research; NOAA. 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program.

36.- 7.02.- ¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Por la tendencia que se ha visto en los últimos años. Este asteroideo va ampliando su área de distribución, de forma que ocupa hábitats nuevos y se adapta a ellos. El sistema de corrientes del Pacífico Norte a través de la corriente de California (una corriente de agua fría que recorre la costa oeste de Estados Unidos y llega hasta el Pacífico central mexicano) puede ser una ruta que utilice esta especie para colonizar zonas más al sur de su distribución actual (Badan, 1997).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Badan, A. 1997. La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico mexicano. Pp: 99-112. En: Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No 3. Lavín, M.F. (Ed.). Unión Geofísica Mexicana.

37.- 7.03.- ¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie puede utilizar como transporte o sustrato materiales flotantes o fijos, por ejemplo, palangres de pesca o cultivo, sacos de semilla, líneas de mejillones y ostras, jaulas de peces, etc; o por materiales que quedan a la deriva como consecuencia de fenómenos naturales como tsunamis (NOAA, 2017; Therriault et al., 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: NOAA. 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program.; Therriault, T.W., Nelson, J.C., Carlton, J.T., Liggan, L., Otani, M., Kawai, H., Scriven, D., Ruiz, G.M. & Murray, C.C. 2018. The invasion risk of species associated with Japanese Tsunami Marine Debris in Pacific North America and Hawaii. Marine Pollution Bulletin 132: 82-89.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No se tiene un registro preciso de que *Asterias amurensis* hay utilizado algún organismo para su dispersión, sin embargo, debido al alto grado de asociación que tiene con sistemas de cultivos, como por ejemplo de moluscos, es muy probable que algunas de sus larvas puedan servir como medio de transporte cuando son trasladadas con fines comerciales o productivos (Hayes et al., 2005; Dunstan & Bax, 2007).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research. Dunstan, P.K. & Bax, N.J. 2007. How far can marine species go? Influence of population biology and larval movement on future range limits. Marine Ecology Progress Series 344: 15-28.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Sobre la base de la periodicidad de la reproducción y la ontogenia de *A. amurensis*, se piensa que las larvas planctotróficas de esta especie estén en el plancton durante varios meses desde el final del invierno hasta el verano (Byrne et al., 1997).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Morrice, M. & Wolf, B. 1997. Introduction of the Northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. Marine Biology 127(4): 673-685.

40.- 7.06.- ¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No hay alguna evidencia de que esta especie haya llegado a México hasta el momento, sin embargo, debido a algunos registros en las costas de Estados Unidos muy cercanos con los límites de México, existe un riesgo alto de su introducción a costas mexicanas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Baja

41.- 7.07.- ¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay evidencias documentadas de que los huevos sean transportados por otros animales de forma natural. Por sus características biológicas esto resulta muy difícil, sin embargo, se requiere más información para determinarlo con precisión (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Baja

42.- 7.08.- ¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No hay datos precisos que determinen el tiempo o distancia que puede recorrer esta especie. Para otra especie de *Asterias* (*A. rubens*) se ha determinado que sus poblaciones pueden avanzar de 5 a 7 m por día, con disponibilidad de alimento (Dare, 1982). Debido a la proximidad de algunos registros en Estados Unidos, puede ser viable que se de una invasión en corto plazo.

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Dare, P.J. 1982. Notes on the swarming behaviour and population density of *Asterias rubens* L. (Echinodermata: Asteroidea) feeding on the mussel, *Mytilus edulis* L. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 40: 112-118.

43.- 7.09.- ¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En un estudio de modelación realizado por Dunstan & Bax (2007) encontraron que el establecimiento de nuevas poblaciones dependía del suministro de larvas y, fundamentalmente, de la capacidad de los nuevos hábitats para retener la producción de larvas dentro del hábitat local y compensar los efectos de bajas densidades en la población.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Dunstan, P.K. & Bax, N.J. 2007. How far can marine species go? Influence of population biology and larval movement on future range limits. *Marine Ecology Progress Series* 344: 15-28.

8.- ATRIBUTOS DE TOLERANCIA

44.- 8.01.- ¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información respecto al nivel de tolerancia a la falta de agua de esta especie.

CONFIANZA: Baja

45.- 8.02.- ¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se encuentra de manera sutil, desde la zona cercana a la costa hasta 200 metros (Sutton & Bruce, 1996). Tolerancia de salinidades de 12 a 36 ppt y temperaturas de 10 a 35°C (Kashenko, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Sutton, C.A. & Bruce, B.D. 1996. Temperature and salinity tolerances of the larvae of the northern Pacific seastar *Asterias amurensis*, CSIRO technical report no. 6, Centre for Research on Introduced Marine Pests, CSIRO Division of Fisheries, Hobart. Kashenko, S.D. 2003. The reaction of the starfish *Asterias amurensis* and *Patiria pectinifera* (Asteroidea) from Vostok Bay (Sea of Japan) to a salinity decrease. *Russian Journal of Marine Biology* 29(2): 110–14.

46.- 8.03.- ¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Aunque se ha propuesto el uso de químicos para erradicar *A. amurensis* no ha sido un método efectivo. Además, su uso directo como un medio para matar a las estrellas del mar ha sido considerado social y ambientalmente inaceptable debido a la gran escala requerida y los graves efectos en otras biotas marinas. Se ha demostrado que la cal, ya sea en forma de escamas o hidratada, es una de las sustancias más tóxicas para las estrellas de mar porque es altamente alcalina y erosiona la prueba de carbonato de las estrellas de mar. Después de la exposición a la cal, o más específicamente a la cal viva (óxido de calcio), durante 24 a 48 horas, una estrella de mar desarrolla lesiones en su prueba y muere dentro de las siguientes dos semanas. *A. amurensis* pareció estresado y moribundo cuando las salinidades cayeron por debajo de 24 ppt, y la muerte ocurrió en niveles inferiores a 18 ppt, en condiciones de acuarios en Rusia (Kashenko, 2003). Por lo anterior, el método más utilizado es la extracción de los organismos, aun así este sistema tiene muchas complicaciones que dependen directamente de la densidad de estrellas y las condiciones ambientales donde se encuentran (Bax et al., 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kashenko, S.D. 2003. The reaction of the starfish *Asterias amurensis* and *Patiria pectinifera* (Asteroidea) from Vostok Bay (Sea of Japan) to a salinity decrease. *Russian Journal of Marine Biology* 29(2): 110-114. Bax, N., Hayes, K.R., Marshall, A., Parry, D. & Thresher, R. 2002. Man-made marinas as sheltered islands for alien marine organisms: Establishment and eradication of an alien invasive marine species. Pp: 26-39. En: Veitch, C.R. & Clout, M.N. (Eds). *Turning the tide: the eradication of invasive species*. IUCN SSC Invasive Species Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK

47.- 8.04.- ¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La introducción accidental a través del agua de lastre de embarcaciones es el medio más probable por el cual *A. amurensis* se introdujo en Australia antes de 1986 y es también la forma más probable de propagación en la actualidad. Sin embargo, también se puede transportar localmente como juveniles o adultos de vida libre dentro de conjuntos de incrustaciones y, como larvas, dentro de sistemas de agua de mar contenidos. Los juveniles pueden ser bastante crípticos en ensamblajes de especies adheridas a los cascos de los barcos y pueden ser trasladados por translocación de equipo o material de acuicultura. Puede dispersarse or materiales que quedan a la deriva como consecuencia de fenomenos naturales como tsunamis (Therriault et al., 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Therriault, T.W., Nelson, J.C., Carlton, J.T., Liggan, L., Otani, M., Kawai, H., Scriven, D., Ruiz, G.M. & Murray, C.C. 2018. The invasion risk of species associated with Japanese Tsunami Marine Debris in Pacific North America and Hawaii. *Marine Pollution Bulletin* 132: 82-89.

48.- 8.05.- ¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: *Asterias amurensis* parece estresarse y presentar indicios de mortandad cuando las salinidades caen por debajo de 24 ppt, y la muerte ocurre en niveles inferiores a 18 ppt, en condiciones de acuarios en Rusia. Cuando se alcanzan condiciones desfavorables, presenta tiempos de enderezamiento más lentos y se debilita la unión al sustrato (Kashenko, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kashenko, S.D. 2003. The reaction of the starfish *Asterias amurensis* and *Patiria pectinifera* (Asteroidea) from Vostok Bay (Sea of Japan) to a salinity decrease. *Russian Journal of Marine Biology* 29(2): 110–14.

49.- 8.06.- **¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se dispone de información precisa. Pueden encontrarse algunos peces que depreden a la estrella de mar o algunas otras estrellas de mar. Se ha observado que los adultos de *A. amurensis* tienen pocos depredadores naturales. En Japón, se ha encontrado que es depredada por la estrella *Solaster paxillatus* y en Alaska por el Cangrejo Rey (*Paralithodes camtschaticus*) en acuarios. Hay una evidencia no muy confiable de cangrejos araña que se alimentaban de *A. amurensis* en el estero de Derwent, en Australia (Ling & Johnson, 2009).

CONFIANZA: Baja

REFERENCIA: Ling, S.D. & Johnson, C.R. 2009. Native spider crab causes high incidence of sub-lethal injury to the introduced seastar *Asterias amurensis*. *Proceedings of the 13th International Echinoderm Conference*, Hobart, 5–8 January 2009, pp. 195–201.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Reducción

JUSTIFICACIÓN: Según las predicciones globales se espera un incremento en las temperaturas de los océanos, por lo que implicaría que las condiciones para el asentamiento y desarrollo de esta especie no sean favorecidas hacia las regiones tropicales o subtropicales. Sin embargo, si incrementaría el riesgo de invasión hacia latitudes más sureñas como la Antártida o el Pacífico sur (Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874–3887.

51.- 9.02.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Reducción

JUSTIFICACIÓN: Según las predicciones el establecimiento de *A. amurensis* en México deberían reducirse, debido a que el aumento de la temperatura del océano en estas latitudes no favorecería el desarrollo de sus larvas ni su asentamiento (Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874–3887.

52.- 9.03.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?**

RESPUESTA: Reducción

JUSTIFICACIÓN: A futuro se esperaría que los riesgos de dispersión de *A. amurensis* se reduzcan en las regiones tropicales y subtropicales; sin embargo, debe tomarse en cuenta que existen otros mecanismos que favorecen la dispersión de esta especie, principalmente actividades humanas como acuicultura, pesca y el traslado de larvas en el agua de lastre, así como el transporte de organismos por los desechos marinos (Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Las consecuencias del cambio climático están afectando a los ecosistemas marinos de manera considerable. La introducción de una especie como *A. amurensis* podría afectar seriamente a estos ecosistemas alterando las interacciones o patrones ecológicos de las especies nativas (Hayes et al., 2005; Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research. Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Las consecuencias del cambio climático están afectando a los ecosistemas marinos de manera considerable. La introducción de una especie como *A. amurensis* podría afectar seriamente a estos ecosistemas alterando las interacciones o patrones ecológicos de las especies nativas (Hayes et al., 2005; Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research. Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Las consecuencias del cambio climático están afectando a los ecosistemas marinos de manera considerable. La introducción de una especie como *A. amurensis* podría afectar seriamente a estos ecosistemas alterando las interacciones o patrones ecológicos de las especies nativas. Así mismo, la alteración en la estructura de las comunidades locales puede verse reflejada en una disminución de especies comerciales o afectaciones directas en sistemas productivos. Esto tendría consecuencias económicas a nivel local y posiblemente regional, por escasez de producto o causar pérdidas económicas por daños a los cultivos (Ross et al., 2004; Hayes et al., 2005; Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Ross, D. J., Johnson, C. R., Hewitt, C. L. & Ruiz, G. M. 2004. Interaction and impacts of two introduced species on a soft-sediment marine assemblage in SE Tasmania. *Marine Biology* 144: 747-756. Hayes, K., Sliwa, C., Migus, S., McEnnulty, F. & Dunstan, P. 2005. National priority pests: Part II Ranking of Australian marine pests. An independent report undertaken for the Department of Environment and Heritage by CSIRO Marine Research. Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential

for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

Anexo 2. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Acanthaster planci*.

[AS-ISK v2 InformeAcanthaster planci.xlsx](#)

Nombre del Taxón: *Acanthaster planci*

A.- BIOGEOGRÁFICO/ HISTÓRICO

1.- 1.01 - ¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie se ha mantenido en cautiverio a nivel experimental con el objetivo de conocer y describir su ciclo de desarrollo. Los investigadores han podido cultivar larvas de *A. planci* en laboratorio desde 1971 (Henderson & Lucas, 1971). Desde entonces, se han realizado numerosos estudios biológicos utilizando larvas de *A. planci* cultivadas (Lucas, 1984). Los juveniles se han cultivado para experimentos de laboratorio a pequeña escala; sin embargo, el cultivo de grandes cantidades de estrellas de mar juveniles para experimentos ecológicos no se ha desarrollado por completo (Yamaguchi, 1974).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Henderson JA, Lucas JS. 1971. Larval development and metamorphosis of *Acanthaster planci* (Asteroidea). *Nature* 232: 655–657. Lucas JS. 1984. Growth and maturation of *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) and hybrids in the laboratory including observations on the effects of diet. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 79: 129–147. Yamaguchi M. 1974. Growth of juvenile *Acanthaster planci* (L.) in the laboratory. *Pacific Science* 28: 123–138

2.- 1.02 - ¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?

RESPUESTA: NO

JUSTIFICACIÓN: No existen registros de que la especie se explote comercialmente o para beneficio humano.

CONFIANZA: Baja

3.- 1.03 ¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Durante los últimos 30 años, varios conjuntos de datos moleculares han sugerido que *Acanthaster planci* podría ser más que una sola especie. Hace casi una década, el código de barras del ADN (secuencias parciales del gen COI mitocondrial) mostró que hay al menos cuatro especies en el Indo-Pacífico dentro de lo que se concibió anteriormente como una única especie. Dos de estas especies — *A. planci* Linnaeus, 1758, distribuido en el norte del Océano Índico, y *A. mauritiensis* de Lorient, 1885, distribuido en el sur del Océano Índico, ya han sido nombrados inequívocamente. Todas las especies de COTS tienden a producir brotes y agregación masiva, aunque esto aparece con más frecuencia en las especies del Pacífico (Houk et al., 2007). Sin embargo, a la fecha es difícil determinar claramente cuales de estas especies pueden considerarse como especies invasoras y cuales no (Haszprunar et al., 2017).

CONFIANZA: Media

REFERENCIAS: Houk, P.; Bograd, S.; van Woesik, R. 2007. The transition zone chlorophyll front can trigger *Acanthaster planci* outbreaks in the Pacific Ocean: Historical confirmation. *J. Oceanogr.* 63, 149–154. Haszprunar, G., Vogler, C., Wörheide, G. 2017. Persistent Gaps of Knowledge for Naming and Distinguishing Multiple Species of Crown-of-Thorns-Seastar in the *Acanthaster planci* Species Complex. *Diversity* 9(2): 22.

2.- CLIMA, DISTRIBUCIÓN Y RIESGO DE INTRODUCCIÓN

4.- 2.01.- ¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?

RESPUESTA: N/A

JUSTIFICACIÓN: *Acanthaster planci* se encuentra distribuida ampliamente en todo el Océano Pacífico, desde el océano Índico (Mar Rojo y África Oriental) hasta el Pacífico (desde el sur de Japón hasta la isla de Lord Howe, y desde la costa oeste de Panamá hasta el Golfo de California). Es considerada una especie nativa de la región del Pacífico Oriental Tropical, por lo que el Pacífico mexicano se encuentra dentro de su área de distribución original. En México se encuentra más comunmente dentro del Golfo de California asociada a las formaciones coralinas que ahí se encuentran (Glynn et al., 2001). No se ha reportado su presencia en el Golfo de México ni el Mar Caribe. La presencia de *A. planci* ha sido ampliamente monitoreada en el Golfo de California desde 2003-2015, pero los trabajos no describen su distribución y ni su abundancia de manera específica. Estos estudios mencionan a esta especie como unas de las cuatro estrellas más abundantes de las comunidades arrecifales del Golfo de California (Reyes-Bonilla et al., 2005; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Glynn, P.W., J.L. Maté, A.C. Baker & M.O. Calderón. 2001. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño–Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69(1): 79-109. Reyes-Bonilla, H., A. González-Azcárraga & A. Rojas-Sierra. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3):233-244; Luna-Salguero, B.M. & H. Reyes-Bonilla. 2010. Community and trophic structure of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in rocky reefs of Loreto, Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 20(2):127-134.

5.- 2.02.- ¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: Las condiciones climáticas de las áreas de distribución de la estrella *A. planci* corresponden a climas de tipo tropical y subtropical, con zonas donde hay presencia de arrecifes coralinos (Reyes-Bonilla et al., 2005; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Reyes-Bonilla, H., A. González-Azcárraga & A. Rojas-Sierra. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(3):233-244. Luna-Salguero, B.M. & H. Reyes-Bonilla. 2010. Community and trophic structure of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in rocky reefs of Loreto, Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 20(2):127-134.

6.- 2.03.- ¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha registrado a lo largo de zonas arrecifales del Golfo de California, frente a las costas de Nayarit (Islas Marietas e Isla Isabel), así como en las islas de Revillagigedo. Sin embargo, en el resto del Pacífico mexicano no se ha registrado para lo cual se desconoce la razón (Hernández-Morales, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Hernández-Morales, A. 2018. Estudio de la estrella de mar Corona de espina *Acanthaster planci* (Echinodermata: Acanthasteridae) en las comunidades arrecifales del Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR, Instituto Politecnico Nacional, 73 pp.

7.- 2.04.- ¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?

RESPUESTA: Ninguno

JUSTIFICACIÓN: La especie es nativa de la región del Pacífico oriental tropical. El supuesto más importante de la hipótesis del brote secundario en la región del Indo-Pacífico de *A. planci* es que sus larvas se dispersan ampliamente en masa sobre las corrientes oceánicas. El rango pan-tropical del Pacífico (Australia a Panamá) de *A. planci* es un indicador potencial de dispersión amplia, y la evidencia genética disponible que utiliza alozima, ADN de COI mitocondrial y microsátélites nucleares respalda una alta capacidad de dispersión, con pocas barreras detectadas para el flujo de genes (Benzie, 1992). Además, tres afirmaciones genéticas comprobables sustentan esta hipótesis, basada en el alto potencial de dispersión de *A. planci* (Lucas, 1973), el tiempo correlacionado de brotes secundarios en ubicaciones distantes (Moran, 1986), y patrones de corrientes oceánicas (Houk et al., 2007). Es probable que se produjera dispersión desde el centro del Indo-Oeste del Pacífico (es decir, Malasia-Indonesia-Filipinas) a través de las corrientes del norte hacia Ryukyu y Japón y a través de las corrientes del sur hasta Australia y el Mar del Coral. La capacidad de dispersión extendida de la larva teleplanca facultativa permitiría tiempo suficiente no solo para la dispersión a Hawai a través de la extensión Kuroshio, sino también a la costa este del Pacífico desde las Islas de la Línea a través de la corriente de la corriente ecuatorial del norte (Birkeland & Lucas, 1990). Las poblaciones del oeste de Australia parecen haber sido derivadas de fuentes del Pacífico en lugar de las del Océano Índico, debido a su coloración y similitud de alozimas con las poblaciones del Pacífico, posiblemente a través de un raro evento de colonización después de la apertura del Estrecho de Torres hace unos 8000 años (Benzie, 1992).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Benzie, J.A.H. 1992. Review of the genetics, dispersal and recruitment of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*). Australian Journal of Marine and Freshwater Research 43: 597–610. Lucas, J.S. 1973. Reproductive and larval biology of *Acanthaster planci* (L.) in Great Barrier Reef waters. Micronesica 9: 197–203. Moran, P.J. 1986. The *Acanthaster* phenomenon. Oceanography and Marine Biology Annual Review 24: 379–480. Houk P, Bograd S, Van Woesik R. 2007. The transition zone chlorophyll front can trigger *Acanthaster planci* outbreaks in the Pacific Ocean: historical confirmation. Journal of Oceanography 63: 149–154. Birkeland, C. & J. Lucas. 1990. *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. CRC Press, 257 pp. Benzie, J.A.H. 1992. Review of the genetics, dispersal and recruitment of Crown-of-thorns Starfish (*Acanthaster planci*), Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43:597-610.

8.- 2.05.- ¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Hay un riesgo permanente de que esta estrella de mar pueda colonizar la región del Mar Caribe y algunas porciones del Golfo de México debido a la presencia de arrecifes coralinos. En 2017, se reportó la presencia de *A. planci* en la isla Gorgona en Colombia, por lo que se puede deducir que su distribución se está ampliando a regiones más sureñas (Zapata et al., 2017). Con esto se abre la posibilidad de su dispersión a través del Canal de Panamá hacia la región del Atlántico oeste si no se tienen precauciones en la vigilancia de las embarcaciones que cruzan el canal de la parte del Pacífico al Atlántico. Además, puede ser posible una introducción accidental por traslado y liberación de ejemplares o larvas por personas o turistas que viajen a la región del Caribe mexicano (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

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

3.- INVASORA EN OTROS SITIOS

9.- 3.01.- **¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En la Gran Barrera de Coral, los brotes primarios muestran un subconjunto de la diversidad genética en la población total (Benzie & Stoddart, 1992) y se cree que producen cohortes anormalmente grandes de larvas que impulsan la conectividad entre poblaciones dispares (Benzie, 1992). En consecuencia, los brotes secundarios son genéticamente distintos de las poblaciones locales de baja densidad (sin brotes) que normalmente habitan en los arrecifes, pero no se diferencian de otras poblaciones de brotes. La hipótesis del brote secundario se ha respaldado con datos genéticos en una parte limitada del rango de *A. planci* (a lo largo de un tramo de 750 km en la Gran Barrera de Coral), y se basa en análisis de alozimas con fecha. Sin embargo, esta hipótesis se ha convertido en una teoría aceptada para explicar los brotes que ocurren consecutivamente entre las líneas costeras discontinuas de islas, archipiélagos y regiones en todo el Océano Pacífico tropical (Yasuda et al., 2009). La extrapolación general más allá de la Gran Barrera de Coral ha dado lugar a la presunción de que los brotes pueden propagarse y se propagan en todo el rango de *A. planci* (Palumbi, 2003). Houk et al. (2007) proponen que los brotes desencadenados por el frente de clorofila de la zona de transición en las islas de Hawai finalmente sembraron brotes secundarios a más de 4500 km de distancia en el noroeste del Pacífico, dispersándose progresivamente a lo largo del sendero del Giro del Pacífico Norte, aunque no hay datos que confirmen la dispersión entre miles de kilómetros.

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Benzie JAH, Stoddart JA. 1992. Genetic structure of outbreaking and nonoutbreaking crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) populations on the Great Barrier Reef. *Marine Biology* 112: 119–130. Benzie JAH. 1992. Review of the genetics, dispersal and recruitment of crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 597–610. Yasuda N, Nagai S, Hamaguchi M, Okaji K, Gerard K, et al. (2009) Gene flow of *Acanthaster planci* (L.) in relation to ocean currents revealed by microsatellite analysis. *Molecular Ecology* 18: 1574–1590. Palumbi, S.R. 2003. Population genetics, demographic connectivity, and the design of marine reserves. *Ecological Applications* 13(1): S146–S158. Houk P, Bograd S, Van Woesik R. 2007. The transition zone chlorophyll front can trigger *Acanthaster planci* outbreaks in the Pacific Ocean: historical confirmation. *Journal of Oceanography* 63: 149–154.

10.- 3.02.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?**

RESPUESTA: Sí

JUSIFICACIÓN: Se han realizado muchas investigaciones sobre los efectos de pastoreo de *A. planci* en la cobertura y supervivencia de los arrecifes de coral, principalmente en el Indo-Pacífico. Las encuestas realizadas desde principios de la década de 1990, han ilustrado la disminución de la cobertura de coral duro vivo coincidente con los brotes de *A. planci* a lo largo de los sistemas de arrecifes entre Lizard Island y Townsville (costa de Queensland, Australia). Los investigadores han enfatizado la importancia de aumentar la conciencia pública sobre estos brotes en continuo aumento, ya que la depredación de las estrellas de mar sobre el coral puede dañar seriamente los arrecifes hasta el punto en que la sostenibilidad de la lucrativa

industria del turismo de arrecifes podría verse afectada. Para proteger estos arrecifes, así como a las personas que dependen de ellos para su sustento económico, los investigadores deben determinar cómo las actividades humanas afectan el ciclo de los brotes de las estrellas de mar. Específicamente, es necesario realizar más investigaciones sobre los efectos de la sobrepesca de los depredadores conocidos de *A. planci*, y sobre cómo el aumento de la escorrentía de nutrientes de la tierra afecta la supervivencia, el reclutamiento y el crecimiento de sus larvas (Stump, 1996; Engelhardt et al., 2001).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Engelhardt, U., M. Hartcher, N. Taylor, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, I. Stevens, G. Thomas, D. Williamson, D. Wiseman. 2001. Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier reef region. Results of fine-scale surveys conducted in 1999-2000. CRC Reef Research Centre Technical Report, 32: 1-100. Stump, R. 1996. An investigation to describe the population dynamics of *Acanthaster planci* (L.) around Lizard Island, Cairns Section, Great Barrier Reef Marine Park. CRC Reef Research Technical Report, 10: 1-56.

11.- 3.03.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuacultura?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen reportes de afectaciones a sistemas de cultivo.

CONFIANZA: BAJA

12.- 3.04.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?

RESPUESTA: SI

JUSTIFICACIÓN: La estrella Corona de Espinas (COTS) es reconocida por su capacidad para alterar la estructura de la comunidad de coral, ya que se alimenta de corales pétreos y otros organismos bentónicos por medio de la liberación de su estómago en el coral y la digestión de las partes blandas (Lawrence, 1987). Después de alimentarse, la estrella deja una cicatriz blanca en la estructura coralina, el esqueleto de coral en poco tiempo (<24 horas) es colonizado por cianobacterias filamentosas y algas; y esto puede ocasionar la muerte del coral (Uthicke et al, 2009). El incremento en la densidad poblacional de COTS puede ocasionar la muerte en áreas extensas de arrecifes coralinos en un tiempo relativamente corto. Los brotes ocurren cuando su densidad está en un punto donde su tasa de alimentación excede la tasa promedio de crecimiento del coral a largo plazo (Fabricius, 2013). Esto puede alterar fuertemente el ecosistema al reducir la diversidad y riqueza de especies, con lo cual podría ocurrir un cambio en el arrecife, es decir, de ser un arrecife dominado por coral, pasa a ser un arrecife dominado por las algas (Uthicke et al., 2009). Este fenómeno ha causado la disminución del 50% de la cubierta de coral vivo en los últimos 27 años, en particular en La Gran Barrera Australiana (De'ath et al., 2012). Se sugiere el 42% del 50% de pérdida coralina causada por brotes es consecuencia de la sobrepesca de depredadores de *A. planci* como el caracol tritón *Charonia tritonis* (Uthicke et al., 2009), el aumento de nutrientes en el mar por escorrentía y desechos de la agricultura (Birkeland, 1982; Uthicke et al., 2009).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Lawrence, J.M. 1987. A functional biology of echinoderms. Baltimore. Johns Hopkins University Press. Uthicke, S., Schaffelke, B. & Byrne, M. 2009. A boom–bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs* 79(1): 3-24. Fabricius KE (2013) *Acanthaster planci*. In: Lawrence JM (ed) *Starfish: biology and ecology of the Asteroidea*. JHU Press, Maryland, USA, pp 133–152. De'ath, G., Fabricius, K. E., Sweatman, H. & Puotinen, M. 2012. The 27–year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(44):

17995-17999. Birkeland, C. 1982. Terrestrial Runoff as a Cause of Outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology* 69: 175-185.

13.- 3.05.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En áreas donde los arrecifes de coral forman la base de la subsistencia local y las pesquerías comerciales a pequeña escala, los efectos en cascada de los brotes de *Acanthaster planci* pueden afectar drásticamente los recursos de peces e invertebrados, lo que constituye una amenaza potencial para la seguridad alimentaria y el estilo de vida de las comunidades costeras (Sano, 2000). Los cambios posteriores de fase de arrecifes estéticos altamente diversos a paisajes submarinos más homogéneos y la presencia de estrellas de mar altamente venenosas también pueden impactar profundamente en la industria turística local; desde 2002, el gobierno australiano ha comprometido un total de \$ 2.4 millones para el control de las estrellas de mar en reconocimiento del daño en los sitios clave de turismo y conservación en la Gran Barrera de Coral (Hoey & Chin, 2004).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Sano, M. 2000. Stability of reef fish assemblages: responses to coral recovery after catastrophic predation by *Acanthaster planci*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 198: 121-130. Hoey, J., Chin, A. 2004. Crown-of-thorns starfish *A. Chin* (Ed.), *The State of the Great Barrier Reef On-Line*, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australia

B.- BIOLOGÍA/ECOLOGÍA

14.- 4.01.- **¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Acanthaster planci* es el único miembro del grupo de estrellas de mar que tiene una toxina en sus numerosas espinas en la superficie. Causan no solo lesiones tóxicas, cuyas severidades dependen del sitio de la picadura y la cantidad de espinas involucradas, sino también síntomas sistémicos graves como hemólisis, relajación muscular y supresión del sistema nervioso central (Sato et al., 2008).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Sato, H., Tsuruta, Y., Yamamoto, Y. I., Asato, Y., Taira, K., Hagiwara, K., ... & Uezato, H. 2008. Case of skin injuries due to stings by crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*). *The Journal of dermatology*, 35(3), 162-167.

15.- 4.02.- **¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las grandes poblaciones de estas estrellas de mar pueden devastar un arrecife entero, como lo ocurrido en la Gran Barrera Arrecifal de Australia. Además, después de reducir la cobertura de coral vivo, las estrellas de mar juveniles y subadultas prefieren alimentarse de coral duro recién formado, lo que afecta significativamente el proceso de recuperación del coral (Engelhardt et al., 1999).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Engelhardt, U., M. Hartcher, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, N. Taylor, G. Thomas, D. Wiseman. 1999. Fine scale surveys of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier Reef Region. CRC Reef Research Centre Technical Report, 30: 1-97.

16.- 4.03.- ¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen especies en la lista de especies amenazadas de la NOM-059-SEMARNAT-2010 que corran el riesgo de ser parasitadas o depredadas por *A. planci* (DOF, 2010); sin embargo, puede causar una disminución considerable de la cobertura coralina, principalmente de los géneros *Pocillopora*, *Pavona*, *Porites* y *Psammocora*, que se encuentran presentes en los sistemas arrecifales del Pacífico Mexicano. En el Pacífico Oriental Tropical, *A. planci* ocurre con densidades poblacionales bajas; solamente en Panamá e Isla de Cocos su abundancia ha sido significativa (Narváez & Zapata, 2010).

CONFIANZA: Media

REFERENCIAS: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. Narváez, K., Zapata, F.A. 2010. First record and impact of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (Spinulosida: Acanthasteridae) on corals of Malpelo Island, Colombian Pacific. *Revista de Biología Tropical* 58(1): 139-143).

17.- 4.04.- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Debido a que esta estrella es un coralívoro, que consume casi exclusivamente corales esclerectinios vivos, su dispersión depende en gran medida de la disponibilidad de este elemento en el lugar. Se puede considerar que *A. planci* tiene un papel en la diversificación del hábitat. Sin embargo, si la cobertura de coral se reduce drásticamente, las poblaciones de especialistas en arrecifes de coral (animales que dependen exclusivamente de la cobertura de coral para refugio y alimentos) pueden disminuir. Por lo tanto, el impacto de *A. planci* en su entorno depende de cuán abundantes sean (Wilson et al., 2008). En un estudio realizado en el Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo (PNAES) en el periodo 2010-2014, en el sitio El Cardonal, el cual tiene una cobertura coralina alta (33%) registraron solo tres individuos, mientras que, para la Ballena, área con una cobertura de 10% se contabilizaron 39 individuos; en este último sitio predominó la cobertura de tapete de algas (50%), lo que indica que en ausencia de coral los organismos se están alimentando de este grupo de algas (Castro-Peláez, 2016). Esta conducta se hace evidente en individuos observados en fondos arenosos, aislados de la zona arrecifal, en postura de alimentación y con el estómago evertido hacia el suelo arenoso, degradando la diversa flora y fauna. Esta observación resuelta importante considerando que se ha definido como especie arrecifal, llegando a encontrarse en fondo arenosos (Hernández-Morales, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Wilson, S. K., R. Fisher, M. S. Pratchett, N. A. J. Graham, N. K. Dulvy, R. A. Turner, A. Cakacaka, N. V. C. Polunin & S. P. Rushton. 2008. Exploitation and habitat degradation as agents of change within coral reef fish communities. *Global Change Biology* 14: 2796-2809. Castro-Peláez, M.A. 2016. Variación espacio-temporal de la abundancia de algunas especies de asteroideos (Echinodermata) en El Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 62 pp. 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. CICIMAR, IPN.

18.- 4.05.- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Un brote de *A. planci* en diversas zonas donde se encuentran comunidades coralinas, como por ejemplo, la zona de bahía Carrizales (Manzanillo, Colima) o Islas Marietas (Bahía Banderas, Nayarit) pudiera causar una severa inestabilidad en el sistema del arrecife al disminuir la cobertura de coral, lo que ocasionaría la reducción de habitats para muchas especies de peces e invertebrados marinos. Este arrecife se considera uno de los mejores conservados debido a las pocas perturbaciones ambientales y el poco uso humano, por lo que la introducción de una especie coralívora podría alterar la estructura trófica del arrecife (Reyes-Bonilla et al., 2012).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Reyes-Bonilla, H., Escobosa-González, L.E., Cupul-Magaña, A., Medina-Rosas, P., Calderón-Aguilera, L. 2012. Estructura comunitaria de corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife coralino de Carrizales, Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 61(2): 583-594.

19.- 4.06.- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Las bajas densidades que se han registrado en los últimos años en la región del Pacífico mexicano sugieren que la presencia de la estrella no representa riesgo a las comunidades naturales. De acuerdo con la preferencia por corales hermatípicos se esperaría encontrar una mayor abundancia de estrellas en sitios de mayor cobertura coralina; sin embargo, se ha observado lo contrario y las poblaciones de *A. planci* no han mostrado un crecimiento que ponga en riesgo los ecosistemas del Pacífico mexicano (Hernández-Morales, 2018). De igual forma en otras regiones del Pacífico Oriental Tropical como Malpelo las bajas densidades de *A. planci* sugieren que actualmente ella no representa amenaza alguna para los arrecifes (Narváez & Zapata, 2010).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: 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. CICIMAR, IPN. Narváez, K., Zapata, F.A. 2010. First record and impact of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (Spinulosida: Acanthasteridae) on corals of Malpelo Island, Colombian Pacific. *Revista de Biología Tropical* 58(1): 139-143.

20.- 4.07.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay evidencias que demuestren que hay plagas o agentes infecciosos endémicos en la región del Pacífico mexicano.

CONFIANZA: Alta

21.- 4.08.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: Si

JUSTIFICACIÓN: La depredación de *A. planci* juega un papel importante en la transmisión de la enfermedad de la banda marrón en los corales formadores de arrecifes (Nugues & Bak, 2009). *A. planci* puede ser un vector

de la enfermedad que transmite el o los patógenos primarios durante la alimentación. La estrella también puede facilitar la propagación de la enfermedad actuando como un factor estresante. Las cicatrices por la alimentación pueden proporcionar un punto de entrada para los patógenos y o aumentar la virulencia de los ciliados. La depredación de *A. planci* también reduce rápidamente el tamaño de las colonias, especialmente durante los brotes masivos. Dicha disminución de tamaño podría agotar las reservas energéticas por debajo de las cuales se compromete la resistencia a las enfermedades (Katz et al., 2014).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Nugues, M.M. & Bak, M.P. 2009. Brown-band syndrome on feeding scars of the Crown-of-thorn starfish *Acanthaster planci*. *Coral Reefs*, 28: 507-510. Katz, S. M., Pollock, F. J., Bourne, D. G. & Willis, B. L. 2014. Crown-of-thorn starfish predation and physical injuries promote brown band disease on corals. *Coral Reefs* 33: 705-716.

22.- 4.09.- ¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los adultos normalmente oscilan entre 250 y 350 mm de diámetro, y algunos individuos tienen más de 700 mm de diámetro (Moran, 1988).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Moran, P. 1988. The *Acanthaster* phenomenon. Australian Institute of Marine Science Monograph Series, 7: 379-480.

23.- 4.10.- ¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?

RESPUESTA: Sí

JUTIFICACIÓN: Las larvas de *A. planci* se dispersan ampliamente, en masa sobre las corrientes oceánicas. El rango pan-tropical del Pacífico (Australia a Panamá) de *A. planci* es un indicador potencial de dispersión amplia, y la evidencia genética disponible que utiliza alozima, ADN de COI mitocondrial y microsatélites nucleares respalda una alta capacidad de dispersión (Yasuda et al., 2009). Además, hay afirmaciones genéticas comprobables que sustentan la hipótesis basada en el alto potencial de dispersión atribuido a *A. planci* y el tiempo correlacionado de los brotes secundarios en lugares distantes y los patrones de corrientes oceánicas (Benzie, 1992).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Yasuda N, Nagai S, Hamaguchi M, Okaji K, Gerard K, et al. 2009. Gene flow of *Acanthaster planci* in relation to ocean currents revealed by microsatellite analysis. *Molecular Ecology* 18: 1574–1590. Benzie JAH. 1992. Review of the genetics, dispersal and recruitment of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 597–610.

24.- 4.11.- ¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La estrella de mar *A. planci* es el principal enemigo natural de los corales que construyen arrecifes. Resultan en mortalidades masivas de corales, a veces aniquilando poblaciones, con consecuencias típicamente de segundo orden y de largo plazo en varias comunidades. Los efectos en cascada de los brotes de *Acanthaster* por lo general se extienden a todo el ecosistema de arrecifes y suelen provocar aumentos en

las algas bentónicas, una pérdida de los conjuntos de alimentación de coral, un colapso general de la complejidad estructural del arrecife y una disminución de la biodiversidad y la productividad (Sano, 2000). Además de causar un extenso agotamiento de los corales, la alimentación selectiva por *A. planci* causa una mortalidad diferencial entre las especies de corales y puede ejercer una influencia importante en la estructura de la comunidad de corales, ya sea aumentando o disminuyendo la diversidad de corales (Porter, 1972).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Sano, M. 2000. Stability of reef fish assemblages: responses to coral recovery after catastrophic predation by *Acanthaster planci*. *Mar Ecol-Prog Ser* 198: 121–130. Porter, J.W. 1972. Predation by *Acanthaster* and its effect on coral species diversity. *Am Nat* 106: 487–492.

25.- 4.12.- ¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las poblaciones de *A. planci* comúnmente muestran oscilaciones cíclicas entre períodos prolongados de baja densidad con individuos escasamente distribuidos entre grandes áreas de arrecifes (típicamente <1 ind.ha⁻¹), las poblaciones pueden aumentar dramáticamente durante ciertos períodos, alcanzando altas densidades denominadas “brotes” (por ejemplo, 1515 ind.ha⁻¹) (Kayal et al., 2012). El éxito de una baja proporción de la producción de larvas de *A. planci* puede ser suficiente para mantener un alto éxito post-larvario y el reclutamiento en poblaciones adultas (Wolfe et al., 2017). Además, los huevos y larvas también están protegidos químicamente con toxinas que pueden disuadir a los depredadores. Parece que los COTS están contruidos para la resistencia de las larvas y el éxito post-larval (Lucas et al., 1979). Las larvas exhiben una fuerte plasticidad en el desarrollo que se adapta a su fenotipo con las condiciones ambientales, con bandas ciliadas más largas cuando los nutrientes se limitan a aumentar su capacidad para capturar las escasas partículas de alimentos (Wolfe et al., 2015).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Kayal, M., Vercelloni, J., Lison de Loma, T., Bosserelle, P., Chancerelle, Y., Geoffroy, S., Stievenart, C.I., Michonneau, F.o., Penin, L., Planes, S., Adjeroud, M., 2012. Predator crown-of-thorns starfish outbreak, mass mortality of corals, and cascading effects on reef fish and benthic communities. *PLoS One* 7 (10), e47363. Wolfe, K., Graba-Landry, A., Dworjanyn, S. A., & Byrne, M. 2017. Superstars: Assessing nutrient thresholds for enhanced larval success of *Acanthaster planci*, a review of the evidence. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2), 307–314. Lucas, J.S., Hart, R.J., Howden, M.E., Salathe, R., 1979. Saponins in eggs and larvae of *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) as chemical defences against planktivorous fish. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 40, 155–165. Wolfe, K., Graba-Landry, A., Dworjanyn, S.A., Byrne, M., 2015. Larval phenotypic plasticity in the boom-and-bust crown-of-thorns seastar, *Acanthaster planci*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 539, 179–189.

5. UTILIZACIÓN DE RECURSOS

26.- 5.01.- ¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No se encuentran especies amenazadas o protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) en la bahía de Manzanillo que pudieran ser depredadas por *A. planci* (Solís-Marín F.A. comunicación personal). Sin embargo, en la lista roja de la IUCN se encuentran 5 especies dentro de la categoría de Preocupación menor (LC) (*Porites panamensis*, *Pocillopora capitata*, *P. lutea*, *Pavona clavus*, *P. gigantea*), todas estas registradas para la costa de Colima (IUCN, 2018).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. IUCN 2018. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. <http://www.iucnredlist.org>.

27.- 5.02.- ¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los brotes de *A. planci* pueden ocasionar el colapso de las poblaciones coralívoras residentes de los arrecifes las cuales sufren limitaciones tróficas tras la depredación de los corales por la estrella de mar. Esta escasez de alimentos, además de la pérdida de refugios y hábitat, se ha considerado uno de los principales efectos causantes de la disminución observada de peces marinos que se alimentan de coral. También se ha reportado la pérdida de comunidades de decápodos que viven dentro de las ramas de coral (Kayal et al., 2012). Por otro lado, la materia orgánica derivada del coral (moco de coral y microorganismos asociados) puede ser asimilada por las larvas de *A. planci* y puede ser una alternativa importante o un recurso alimentario adicional para las larvas a través de períodos de baja biomasa de fitoplancton. Este recurso alimenticio adicional podría potencialmente facilitar los brotes de la estrella al reducir la limitación de recursos (Nakajima et al., 2016). Además, estos agregados de moco de coral son considerados como uno de los principales contribuyentes al origen de la materia orgánica en partículas (POM) en aguas de arrecife (Huettel et al., 2006), siendo una importante fuente de alimento para varios animales de arrecife, como los peces, el zooplancton y varios taxones bentónicos, como los cangrejos de coral y las estrellas frágiles (Nakajima & Tanaka, 2014).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Kayal, M., Vercelloni, J., De Loma, T. L., Bosserelle, P., Chancerelle, Y., Geoffroy, S. & Adjeroud, M. 2012. Predator crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) outbreak, mass mortality of corals, and cascading effects on reef fish and benthic communities. *PloS one* 7(10): e47363. Nakajima, R., Nakatomi, N., Kurihara, H., Fox, M. D., Smith, J. E., & Okaji, K. 2016. Crown-of-thorns starfish larvae can feed on organic matter released from corals. *Diversity* 8(4): 18. Huettel, M.; Wild, C.; Gonelli, S. 2006. Mucus trap in coral reefs: Formation and temporal evolution of particle aggregates caused by coral mucus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 307, 69–84. Nakajima, R.; Tanaka, Y. 2014. The role of coral mucus in the material cycle in reef ecosystems: Biogeochemical and ecological perspectives. *J. Jpn. Coral Reef Soc.* 2014 16: 3–27.

6. REPRODUCCIÓN

28.- 6.01.- ¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se ha documentado la existencia de cuidado parental o de que la especie reduzca su edad de primera madurez sexual por cambios en las condiciones ambientales. Sin embargo, se ha encontrado que algunos factores ambientales como la temperatura o la presencia de fitoplancton pueden inducir el desove de los organismos con mayor efecto sobre los machos que en las hembras (Caballes & Pratchett, 2017).

CONFIANZA: Media

REFERENCIAS: Caballes, C.F. & Pratchett, M.S. 2017. Environmental and biological cues for spawning in the crown-of-thorns starfish. *PLoS ONE* 12(3): e0173964.

29.- 6.02.- ¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Acanthaster planci* genera de manera estacional durante los meses de verano, de acuerdo con la ubicación de cada población. Las poblaciones en el hemisferio norte generalmente desovan entre mayo y agosto, mientras que las poblaciones en el hemisferio sur desovan entre noviembre y febrero (Birkelanci & Lucas, 1990; Moran, 1988a, b). La temperatura es considerada como uno de los principales factores que controlan la gametogénesis en *A. planci*, de modo que la actividad reproductiva máxima se observa a menudo durante los meses más cálidos del año o cuando las temperaturas son cercanas a los 28°C (Pratchett et al., 2014).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Birkelanci, C. & J. Lucas. 1990. *Acanthaster planci*: Major Management Problem of Coral Reefs. Boca Raton, Florida: CRC Press. Moran, P. 1988a. Crown-of-Thorns Starfish: Questions and Answers. Queensland: Australian Institute of Marine Science; Moran, P. 1988b. The *Acanthaster* phenomenon. Australian Institute of Marine Science Monograph Series, 7: 379-480. Pratchett, M.S., Caballes, C.F., Rivera-Posada, J.A. & Sweatman, H.P.A. 2014. Limits to understanding and managing outbreaks of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.). *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 52: 133-200.

30.- 6.03.- **¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: En la región del Pacífico mexicano *Acanthaster planci* es la única especie reconocida. Solo se ha reportado hibridación en laboratorio con *Acanthaster brevispinus*, la cual solo se encuentra distribuida en el Indo-Pacífico, por lo que no hay riesgo de hibridación en México (Lucas & Jones, 1976; Lucas, 1984).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Lucas, J. S. & Jones, M. M. 1976. "Hybrid crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* X *A. brevispinus*) reared to maturity in the laboratory". *Nature* 263: 409–412; Lucas, J. S. 1984. Growth, maturation and effects of diet in *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) and hybrids reared in the laboratory. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 79(2): 129-147

31.- 6.04.- **¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No es una especie hermafrodita, aunque existe una controversia respecto al tema de reproducción asexual en *A. planci*. En un estudio preliminar se encontró evidencia que de que esta estrella puede regenerarse a partir de la pérdida extensa de tejido, pero la supervivencia parece depender de mantener al menos parte del disco central (Messmer et al., 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Messmer, V., Pratchett, M. S., & Clark, T. D. 2013. Capacity for regeneration in crown of thorns starfish, *Acanthaster planci*. *Coral Reefs* 32(2): 461–461.

32.- 6.05.- **¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Este asteroideo es un coralívoro, que consume casi exclusivamente corales escleractinios vivos (i.e. corales formadores de arrecifes), aunque como adulto es un carnívoro oportunista, también puede depredar invertebrados sésiles incrustados y animales muertos. *Acanthaster planci* consume la mayoría de los tipos de corales pétreos como *Pocillopora*, *Acropora*, *Pavona* y *Porites* (Keesing & Lucas, 1992; Moran, 1988; Pratchett, 2007).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Keesing, J. & J. 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. Moran, P. 1988. *Crown-of-Thorns Starfish: Questions and Answers*. Queensland: Australian Institute of Marine Science. Pratchett, M. 2007. Feeding preferences of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) under controlled conditions of food availability. *Pacific Science* 61(1): 113-119

33.- 6.06.- ¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran numero de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Tiene una fecundidad muy alta (> 100 millones de ovocitos por temporada para una sola estrella de mar), lo que permite la capacidad de tener aumentos muy rápidos en el tamaño de la población (Babcock et al., 2016).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Babcock, R.C., Milton, D.A. & Pratchett, M.S. 2016. Relationships between size and reproductive output in the crown-of-thorns starfish. *Marine Biology* 163(11): 1-7.

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: 2

JUSTIFICACIÓN: Se estima que requiere cerca de dos años para alcanzar su talla de madurez sexual (Caballes & Pratchett, 2014).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Caballes, C. F., & Pratchett, M. S. 2014. Reproductive biology and early life history of the crown-of-thorns starfish. Pp: 101-114. En: *Echinoderms: Ecology, Habitats and Reproductive Biology*. Whitmore, E. (Ed.). Nova Science Publishers Inc, United States.

7.- MECANISMOS DE DISPERSIÓN

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Dispersión natural (local): Se ha estimado que las larvas de *A. planci* pueden llegar a desplazarse hasta 250 metros por semana y los adultos pueden recorrer entre 2-10 metros por día, sin embargo, factores como la densidad, cobertura coralina y la acción de las olas altas pueden cambiar estos valores y por lo tanto, retardar o acelerar la colonización de nuevos sitios en los arrecifes (Chesher, 1969; Keesing & Lucas, 1992). Corrientes de agua: las larvas de *Acanthaster* son transportadas por corrientes a áreas muy dispersas, como ha sido el caso de *Ryukyus* (Japón) (Nakamura, 1986; Timmers et al., 2011).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Chesher, R.H. 1969. Destruction of Pacific corals by the sea star *Acanthaster planci*, *Science* 165: 280-283. Keesing, J.K. & Lucas, J.S. 1992. Field measurement of feeding and movement rates of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 156(1): 89-104. Nakamura, R. 1986. A morphometric study on *Acanthaster planci* populations in the Ryukyu Islands Japan, *Galaxea* 5(2): 223-238; Timmers, M.A.; Andrews, K.R.; Bird, C.E.; deMaintenton, M.J.; Brainard, R.E. &

Toonen, R.J. 2011. Widespread Dispersal of the Crown-of-Thorns Sea Star, *Acanthaster planci*, across the Hawaiian Archipelago and Johnston Atoll. *Journal of Marine Biology*: Article ID 934269

36.- 7.02.- ¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Hay muy poca información referente a *A. planci* a lo largo de la costa oeste de México. En el Golfo de California sus poblaciones se extienden desde Isla Rasa, en Bahía de Los Ángeles (28.8° N) hasta Isla Tres Marias, Nayarit (21° 41' N) (Hendrickx et al., 2005). Para el Golfo de California no se cuenta con trabajos recientes enfocados en esta estrella de mar, y los que existen corresponden a trabajos que nos describen su distribución y abundancia de manera puntual. Dentro de su distribución se incluyen varias áreas naturales protegidas. Podría llegar a la zona de La Boquita o al arrecife de Carrizales, los cuales son sitios con formaciones coralinas importantes desde el punto de vista ecológico y turístico (Galván-Villa observaciones personales). Los patrones de circulación de corriente que se presentan en las bahías de Santiago y Manzanillo pueden contribuir a la dispersión de la estrella de mar. Las corrientes de marea muestran un patrón de circulación durante el flujo, con una tendencia ciclónica en el área de Santiago y una anticiclónica en la porción de Manzanillo, invirtiéndose esta tendencia durante el reflujo (Galicia-Pérez et al., 2008).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Hendrickx, M. E., Brusca, R. C. & Findley, L. T. 2005. Listado y distribución de la macrofauna del Golfo de California, México: Parte 1. Invertebrados. Arizona-Sonora Desert Museum. 429 pp. Galicia-Pérez, M. A., Gavino-Rodríguez, J. H., & Torres-Orozco, E. 2008. Aspectos de la circulación marina y el oleaje en la bahía de Manzanillo. Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Facultad de Ciencias Marinas, Revista Iridia de la Universidad de Colima.

37.- 7.03.- ¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No presenta ninguna estructura especial para adherirse a sustratos duros como los cascos de embarcaciones o materiales flotantes (Moran, 1988).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Moran, P. 1988. Crown-of-Thorns Starfish: Questions and Answers. Queensland: Australian Institute of Marine Science.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

RESPUESTA: SI

JUSTIFICACIÓN: Las larvas de *Acanthaster* pueden ser transportadas por corrientes a áreas muy dispersas (Timmers et al., 2011).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Timmers, M.A.; Andrews, K.R.; Bird, C.E.; deMaintenton, M.J.; Brainard, R.E. & Toonen, R.J. 2011. Widespread Dispersal of the Crown-of-Thorns Sea Star, *Acanthaster planci*, across the Hawaiian Archipelago and Johnston Atoll. *Journal of Marine Biology*: Article ID 934269.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Por medio de larvas que son transportadas por las corrientes marinas (Timmers et al., 2011). Se han reconocido dos fases de vida de esta estrella: la pelágica que consiste en una etapa larvaria de 3-4 semanas, después de esto las larvas se asientan en los arrecifes poco profundos y se convierten en prejuveniles pasando a la fase bentónica; entre los 16 meses y los tres años, los juveniles migran hacia la superficie de las colonias de coral dejando de ser crípticos (Keesing et al., 1997; Caballes et al., 2016).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Timmers, M.A.; Andrews, K.R.; Bird, C.E.; deMaintenton, M.J.; Brainard, R.E. & Toonen, R.J. 2011. Widespread Dispersal of the Crown-of-Thorns Sea Star, *Acanthaster planci*, across the Hawaiian Archipelago and Johnston Atoll. *Journal of Marine Biology*: Article ID 934269. Keesing, J.K., A.R. Halford, K.C. Hall, & C.M. Cartwright. 1997. Large-scale laboratory culture of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata: Asteroidea). *Aquaculture*, 157: 215-226. Caballes, C. F., M.S. Pratchett, A.M. Kerr & J.A. Rivera-Posada. 2016. The role of maternal nutrition on oocyte size and quality, with respect to early larval development in the coral-eating starfish, *Acanthaster planci*. *PLoS One* 11(6): e015800.

40.- 7.06.- **¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie no mantiene un área de distribución o territorio. Los comportamientos locomotores observados en *A. planci* son típicos de las estrellas de mar depredadoras. Los individuos se arrastran a una velocidad de hasta 35 cm por minuto sobre los arrecifes de coral y escombros, encontrando y consumiendo corales pétreos invirtiendo el estómago sobre el sustrato de coral y digiriendo los pólipos. Los juveniles se alimentan por la noche en las zonas expuestas del arrecife frontal, donde aparentemente es menos probable que los depredadores las noten, mientras que los adultos son más comunes en las zonas protegidas del arrecife (Engelhardt et al., 1999; 2001; Stump, 1996; Moran, 1988a, b).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Engelhardt, U., M. Hartcher, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, N. Taylor, G. Thomas & D. Wiseman. 1999. Fine scale surveys of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier Reef Region. CRC Reef Research Centre Technical Report, 30: 1-97. Engelhardt, U., M. Hartcher, N. Taylor, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, I. Stevens, G. Thomas, D. Williamson & D. Wiseman. 2001. Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier reef region. Results of fine-scale surveys conducted in 1999-2000. CRC Reef Research Centre Technical Report, 32: 1-100. Stump, R. 1996. An investigation to describe the population dynamics of *Acanthaster planci* (L.) around Lizard Island, Cairns Section, Great Barrier Reef Marine Park. CRC Reef Research Technical Report, 10: 1-56. Moran, P. 1988a. Crown-of-Thorns Starfish: Questions and Answers. Queensland: Australian Institute of Marine Science. Moran, P. 1988b. The *Acanthaster* phenomenon. Australian Institute of Marine Science Monograph Series, 7: 379-480.

41.- 7.07.- **¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene reportes de que esta especie haya sido transportada por otros organismos. Se sabe que durante la fase pelágica, la larva viaja pasivamente con las corrientes marinas (Okaji, 1996).

CONFIANZA: Media

REFERENCIAS: Okaji, K.T. 1996. Feeding ecology in the early life stages of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.). Ph.D. Thesis, James Cook University, Townsville, Australia.

42.- 7.08.- **¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las tasas de movimiento de *Acanthaster planci* promedian 2.8 metros por día en lugares con baja densidad de estrellas de mar y alta cobertura coralina, y 10.3 metros por día en sitios con alta densidad y baja cobertura. Dentro de los arrecifes de Australia, se ha encontrado que las tasas de movimiento de la población fueron más altas en áreas con poca cobertura de coral y las estrellas de mar grandes fueron presentan mayor movilidad que las más pequeñas (Keesing & Lucas, 1992).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Keesing, J.K. & Lucas, J.S. 1992. Field measurement of feeding and movement rates of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 156(1): 89-104.

43.- 7.09.- **¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las tasas de movimiento de *Acanthaster planci* promedian 2.8 metros por día en lugares con baja densidad de estrellas de mar y alta cobertura coralina, y 10.3 metros por día en sitios con alta densidad y baja cobertura. Dentro de los arrecifes de Australia, se ha encontrado que las tasas de movimiento de la población fueron más altas en áreas con poca cobertura de coral y las estrellas de mar grandes fueron presentan mayor movilidad que las más pequeñas (Keesing & Lucas, 1992).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Keesing, J.K. & Lucas, J.S. 1992. Field measurement of feeding and movement rates of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 156(1): 89-104.

8. ATRIBUTOS DE TOLERANCIA

44.- 8.01.- **¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es un organismo totalmente acuático, los adultos solo pueden permanecer unos cuantos minutos fuera del agua cerrando los surcos ambulacrales y manteniendo agua dentro de ellos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

45.- 8.02.- **¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]**

RESUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: La temperatura afecta las densidades de esta estrella. A menor temperatura superficial, mayor es el número de organismos con rangos de entre 22° y 24.5°C (Cintra-Buenrostro et al., 2005). Aunque, Johnson & Babcock (1994) mencionan que *A. planci* en el arrecife Davies (18° 50' S) en Australia produce larvas normales de bipinaria a 22.3° y 21°C. En áreas de fuerte acción de las olas, la arena puede proporcionar una

barrera al movimiento de la estrella de mar entre parches de arrecife (Chesher, 1969). La estrella de mar prefiere vivir en áreas más protegidas, como lagunas, y en aguas más profundas a lo largo de los frentes de los arrecifes (Moran, 1997). Por lo general, evitan las aguas poco profundas en las cimas de los arrecifes, donde es probable que las condiciones del agua sean más turbulentas (Moran, 1997). Cuando el clima es tranquilo, el rango potencial de la estrella de mar aumenta y la estrella de mar puede cruzar zonas de arena y alimentarse en áreas de aguas poco profundas (Chesher, 1969; Moran, 1997).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Cintra-Buenrostro, C. E., H. Reyes-Bonilla & M. D. Herrero-Pérezrul. 2005. Oceanographic conditions and diversity of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) in the Gulf of California, México. *Revista de Biología Tropical*. 53 (3): 245-261. Johnson, L. G. & R. C. Babcock. 1994. Temperature and the larval ecology of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. *Biological Bulletin*. 187 (3): 304-308. Chesher, R.H. 1969. Destruction of Pacific corals by the sea star *Acanthaster planci*, *Science* 165: 280-283. Moran, P.J. 1997. Crown-of-thorns starfish questions and answers. Australian Institute of Marine Science.

46.- 8.03.- ¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se han utilizado diferentes métodos para su erradicación. Entre estos se encuentra la extracción manual de ejemplares y entierro de los mismos, el uso de venenos o sustancias químicas inyectados en las estrellas, cortar los ejemplares, colocar cercas submarinas para evitar su dispersión. Cada uno de estos métodos tiene sus puntos a favor y en contra. Los más utilizados y con mejores resultados han sido la extracción manual y el uso de químicos inyectados directamente en las estrellas (Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office, 2011; Fabricius, 2013).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office. 2011. Crown-of-thorns starfish control manual. Kuroshio Biological Research Foundation; Fabricius, K. 2013. *Acanthaster planci*. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp; http://issg.org/database/species/management_info.asp?si=1043&fr=1&sts=&lang=EN consultado el 5 de diciembre de 2018.

47.- 8.04.- ¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las afectaciones a las comunidades coralinas pueden afectar el desarrollo de la especie. Los efectos del calentamiento global están afectando directamente a los arrecifes coralinos, como consecuencia hay una pérdida considerable de cobertura coralina (Hughes et al., 2003). Esto implica menos disponibilidad de alimento para *A. planci*. Además, la extracción o pesca de peces que fungen como depredadores puede beneficiarles y permitir un aumento en las densidades de sus poblaciones (Zann et al., 1987; Moran, 1988).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C... & Roughgarden, J. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 103: 929-933. Zann, L., Brodie, J., Berryman, C. & Naqasima, M. 1987. Recruitment, ecology, growth and behavior of juvenile *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata: Asteroidea). *Bulletin of Marine Science*. 41(2): 561-575. Moran, P. 1988. The *Acanthaster* phenomenon. Australian Institute of Marine Science Monograph Series 7: 379-480.

48.- 8.05.- ¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Se ha encontrado que la reducción de la salinidad tiene fuertes efectos negativos en la fertilización y el desarrollo temprano de *Acanthaster planci*, comenzando con la fertilización y continuando a través de la eclosión de embriones. La fertilización fue relativamente resistente a las reducciones en la salinidad, permaneciendo por encima del 90% hasta que la salinidad se redujo a 25 ppt o menos. La reducción de la salinidad retrasa la eclosión, pero la reducción del pH, de forma aislada o en combinación con una menor salinidad, no tiene efectos detectables en este punto del desarrollo (Allen et al., 2017).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Allen, J.D., Schrage, K.R., Foo, S.A., Watson, S. & Byrne, M. 2017. The Effects of Salinity and pH on Fertilization, Early Development, and Hatching in the Crown-of-Thorns Seastar. *Diversity* 9: 1-14.

49.- 8.06.- ¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los depredadores más conocidos de *A. planci* incluyen la concha de triton gigante *Charonia tritonis* y varios peces en las familias *Balistidae* y *Tetraodontidae*, que tienen escamas con forma de placa córnea y dientes afilados y fuertes que les permiten eliminar trozos de tejido de *A. planci*. Particularmente en la región del Pacífico mexicano se encuentran por lo menos seis especies depredadoras de la estrella de mar y otras especies de invertebrados (Cowan et al., 2017).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Cowan, Z.L., Pratchett, M., Messmer, V. & Ling, S. 2017. Known Predators of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster* spp.) and their role in mitigating, if not preventing, population outbreaks. *Diversity* 9: 1-19.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- ¿Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Las posibilidades de dispersión y generación de brotes de *A. planci*, pueden verse favorecidos por el incremento de la temperatura de los océanos. El incremento de la temperatura ayuda al desarrollo de las larvas de *A. planci* y por lo tanto, puede ser un cofactor que favorezca los brotes (Uthicke et al., 2015). Sin embargo, se debe considerar que el incremento de temperatura en los océanos afecta directamente el desarrollo de los arrecifes coralinos, lo que hoy esta provocando una perdida considerable de coral vivo en todo el mundo (Hughes et al., 2003). Esta perdida de cobertura de coral afecta directamente el desarrollo de *A. planci* ya que su dieta se compone principalmente de coral vivo. Con base en esto se podría suponer que las posibilidades de introducción, por ejemplo, en el Mar Caribe podrían reducirse en el futuro. Algunos estudios anteriores mencionan que las poblaciones de *A. planci* han mantenido un comportamiento constante respecto a la baja densidad (<1 ind/m²) en el Golfo de California desde los años 70 (Hernández-Morales, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Uthicke, S., Logan, M., Liddy, M., Francis, D., Hardy, N., & Lamare, M. 2015. Climate change as an unexpected co-factor promoting coral eating seastar (*Acanthaster planci*) outbreaks. *Scientific Reports* 5:

8402. Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C... & Roughgarden, J. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 103: 929-933. 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 Politécnico Nacional. La Paz, B. C. 79 pp.

51.- 9.02.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: De acuerdo a un estudio por Uthicke et al. (2015) determinaron mediante modelos predictivos que el aumento en la temperatura de los océanos favorece el desarrollo y asentamiento de las larvas de *A. planci*. El incremento de la temperatura se correlaciona con un aumento en la concentración de alimento para las larvas y por lo tanto, un aumento en la tasa de supervivencia y asentamiento. En este estudio se concluye que la temperatura es un cofactor que puede favorecer la aparición de brotes de la estrella corona de espinas.

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Uthicke S., Logan M., Liddy M., Francis D., Hardy N. & Lamare M. 2015. Climate change as an unexpected co-factor promoting coral eating seastar (*Acanthaster planci*) outbreaks. *Scientific reports* 5: 8402.

52.- 9.03.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Los modelos de predicción suponen un incremento en las tasas de supervivencia y asentamiento de larvas de *A. planci* debido al aumento de la temperatura promedio de los océanos. La dispersión de estas puede ser favorecida por la disponibilidad de alimento, lo que les permita colonizar otras regiones (Uthicke et al., 2015).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIAS: Uthicke S., Logan M., Liddy M., Francis D., Hardy N. & Lamare M. 2015. Climate change as an unexpected co-factor promoting coral eating seastar (*Acanthaster planci*) outbreaks. *Scientific reports* 5: 8402.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Más Alta

JUSTIFICACIÓN: Los crecimientos masivos (outbreaks) que se han presentado en la región del Indo-Pacífico han provocado una disminución considerable de la cobertura coralina. La tasa de reducción por depredación de *Acanthaster planci* se estima entre un 0.2 y 1.5% por año desde 1960 (Bruno & Selig, 2007). Por lo tanto, si se llegaran a presentar estos aumentos de densidades en las poblaciones regionales podrían provocar un desequilibrio en las comunidades coralinas locales, las cuales funcionan como fuente de reclutas de muchas especies. En este sentido, muchos grupos de investigación han enfatizado la importancia de aumentar la conciencia pública sobre estos brotes en continuo aumento, ya que la depredación de corales por las estrellas de mar puede dañar seriamente los arrecifes hasta el punto en que la sostenibilidad de la lucrativa industria del turismo de arrecifes podría verse afectada. Para proteger estos arrecifes, así como a las personas que dependen de ellos para su sustento económico, los investigadores deben determinar cómo las actividades humanas afectan el ciclo de los brotes de estrellas de mar. Específicamente, es necesario realizar más

investigaciones sobre los efectos de la sobrepesca de los depredadores conocidos de *A. planci*, y sobre cómo el aumento de la escorrentía de nutrientes de la tierra afecta la supervivencia, el reclutamiento y el crecimiento de la larva (Stump, 1996; Engelhardt et al., 2001).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Bruno, J. & Selig, E. 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: timing, extent, and subregional comparisons. *Public Library of Science ONE* 2: e711. Stump, R. 1996. An investigation to describe the population dynamics of *Acanthaster planci* (L.) around Lizard Island, Cairns Section, Great Barrier Reef Marine Park. CRC Reef Research Technical Report, 10: 1-56. Engelhardt, U., M. Hartcher, N. Taylor, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, I. Stevens, G. Thomas, D. Williamson & D. Wiseman. 2001. Crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier reef region. Results of fine-scale surveys conducted in 1999-2000. CRC Reef Research Centre Technical Report, 32: 1-100.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Se han realizado muchas investigaciones sobre los efectos de pastoreo de *Acanthaster planci* en la cobertura y supervivencia de los arrecifes de coral. Las grandes poblaciones de esta estrella de mar pueden devastar un arrecife, como ha ocurrido en la Gran Barrera de Coral de Australia. Además, después de reducir la cobertura de coral vivo, las estrellas de mar juveniles y subadultas prefieren alimentarse de coral duro recién formado, lo que afecta significativamente el proceso de recuperación de coral (Engelhardt et al., 1999). El incremento de la temperatura de los océanos puede contribuir a un incremento en la densidad de larvas, las cuales a su vez pueden ser dispersadas por las corrientes a lugares distantes (Hughes et al., 2003). El aumento en las tasas de supervivencia y asentamiento de las larvas de *A. planci*, llevara a un incremento de reclutas en los arrecifes coralinos, los cuales están siendo afectados por otros estresores como acidificación, sedimentación, contaminación y sobrepesca (Hughes et al., 2003).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Engelhardt, U., M. Hartcher, J. Cruise, D. Engelhardt, M. Russell, N. Taylor, G. Thomas & D. Wiseman. 1999. Fine scale surveys of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) in the central Great Barrier Reef Region. CRC Reef Research Centre Technical Report 30: 1-97. Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C... & Roughgarden, J. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 103: 929-933.

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: La reducción de cobertura coralina por depredación de *Acanthaster planci*, puede afectar directamente las actividades turísticas como el buceo o snorkeling, que son fuentes importantes de ingreso para muchas comunidades costeras, y que ahora utilizan como su medio de sustento con el fin de reducir el impacto por otras actividades como la sobrepesca. Además, de forma indirecta la pérdida de arrecifes de coral provocaría una disminución en la tasa de reproducción y reclutamiento de muchas especies dependientes de ellos para completar sus ciclos de vida. Estas especies pueden ser recursos explotados comercialmente como fuente de alimento, afectando la economía de las personas que dependen de ellas (Hughes et al., 2003; Rochet et al., 2010).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C... & Roughgarden, J. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 103: 929-933. Rochet, M.J., Trenkel, V.M., Carpentier, A., Coppin, F., Gil-de Sola, L., Leaute, J.P... & Bertrand, J.A. 2010. Do changes in environmental and fishing pressures impact marine communities? An empirical assessment. *Journal of Applied Ecology* 47: 741-750.

Anexo 3. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Astropecten polyacanthus*.

[AS-ISK v2 InformeAstropecten polyacanthus.xlsx](#)

Nombre del taxón: *Astropecten polyacanthus*

A.- BIOGEOGRÁFICO / HISTÓRICO

1.- 1.01.- **¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay registros de que la especie sea cultivada.

CONFIANZA: Media

2.- 1.02.- **¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La especie no se cultiva, sin embargo, se puede encontrar venta de organismos por internet que muy posiblemente se capturan del medio natural (<https://exofauna.com/comprar-estrellas-de-mar/1573-astropecten-polyacanthus.html>).

CONFIANZA: Baja

3.- 1.03.- **¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros de otras especies del género *Astropecten* que hayan sido reportadas como invasoras (GISD, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: GISD. 2018. Global Invasive Species Database, www.iucngisd.org, consultado el 6 de diciembre de 2018.

2.- Clima, distribución y riesgo de introducción

4.- 2.01.- **¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?**

RESPUESTA: Medio

JUSTIFICACIÓN: Por su ubicación el Pacífico mexicano es la región con mayor probabilidad de ser invadida por la estrella *Astropecten polyacanthus*. En el Pacífico mexicano predominan condiciones tropicales. Con valores de temperatura de entre 25 y 28°C en invierno y un promedio de 29.5°C en verano. Se presenta un régimen mesomareal, mixto, semidiurno, siendo un mar tropical con influencia invernal del extremo sur de la corriente de California. Se presentan costas rocosas, costas arenosas, lagunas costeras, estuarios, sistemas deltaicos generalmente pequeños, parches arrecifales y manglares. Por el otro lado, La región de Hawaii se caracteriza por temperaturas promedio de 24°C en invierno y de 23 a 27 en verano. Se encuentran arrecifes de corales

bordeantes, atolones, bancos de coral, montañas submarinas, sistemas pelágicos del océano abierto (Wilkinson et al., 2009). Para el caso del Indo-Pacífico se encuentran valores de temperatura de 25 a 31°C, aguas claras con visibilidad buena hasta 60 m (Aquino-Rodríguez, 2016). De acuerdo a Spalding et al. (2007) todas las zonas de distribución de *A. polyacanthus* se integran en la ecoregión del Pacífico Norte Templado. Mediante la herramienta Climatch se encontró una similitud media en las condiciones climáticas entre la región del Indo-Pacífico (área nativa para *Astropecten polyacanthus*) y el Pacífico de México (<https://climatch.cp1.agriculture.gov.au/climatch.jsp>).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Wilkinson, T., J. Bezaury-Creel, F. Gutiérrez, T. Hourigan, L. Janishevski, C. Madden, M. Padilla y E. Wiken. 2009. Marine spaces: North America's Marine Ecological Regions, Commission for Environmental Cooperation, Montreal, 200 pp. Aquino-Rodríguez, C. 2016. Indopacífico: India y la cuenca del Pacífico, Revista Peruana de Estudios de Asia-Pacífico 1: 1-7. Spalding, Mark D., Helen E. Fox, Gerald R. Allen, Nick Davidson et al. 2007, Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. Bioscience 57(7): 573–583.

5.- 2.02.- ¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: No se realizó un análisis climático debido a que las áreas de distribución de la especie son exclusivamente marinas, y estas no se sujetan a los sistemas de clasificación tradicionales. Sin embargo, se utilizó información proporcionada por referencias de trabajos científicos que describen las condiciones generales de las zonas y el programa Climatch (<http://data.daff.gov.au:8080/Climatch/climatch.jsp>). Con el programa Climatch se pudo hacer una comparativa de las condiciones oceanográficas entre la costa Pacífica de México y la costa este de Australia.

CONFIANZA: Alta

6.- 2.03.- ¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se encontró un ejemplar durante un buceo recreativo en la zona conocida como Los Frailes en la bahía de Manzanillo. El ejemplar se encontró sobre el sustrato arenoso a una profundidad de 50 metros (Galván-Villa datos sin publicar).

CONFIANZA: Alta

7.- 2.04.- ¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Es posible que la introducción de la estrella, como a sucedido con otras especies, se haya presentado por el traslado de larvas en el agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto de Manzanillo provenientes de la región del Pacífico Occidental como Filipinas, Japón, China, Indonesia, Rusia y Hawai (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. BioInvasions Records 7(1)1-6.

8.- 2.05.- ¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: Se encontro un ejemplar durante un buceo recreativo en la zona conocida como Los Frailes en la bahía de Manzanillo. El ejemplar se encontró sobre el sustrato arenoso a una profundidad de 50 metros (Galván-Villa datos sin publicar).

CONFIANZA: Alta

3.- Invasora en otros sitios

9.- 3.01.- **¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Astropecten polyacanthus* se distribuye ampliamente en el área del Indo-Pacífico occidental, desde el oeste del Océano Índico hasta las islas de Hawái. Sin embargo, se considera una estrella de mar rara en algunas regiones como Taiwan y Kenia (Humphreys, 1981; Chao, 1999). Por los registros que se tienen es muy probable que esta especie tiene como punto de origen la región de Filipinas y a partir de ahí comenzó su dispersión hacia otras regiones como China, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Hawaii y el Mar Rojo en Africa, por lo tanto, es probable que esta especie se ha ido naturalizando en estas regiones (Galván-Villa Observaciones personales).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Humphreys, W.F. 1981. The echiinoderms of Kenya's marine parks and adjacent regions, Musee Royal de L'Afrique Centrale, 39 pp. Chao, S. 1999, A revision of the Family Astropectinidae (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwán, with description of five new records, Zoological Studies 28(3): 257-267.

10.- 3.02.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe una evaluación de los posibles impactos que pudiera causar esta especie como agente invasor a las poblaciones silvestres o especies de importancia comercial.

CONFIANZA: Baja

11.- 3.03.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuicultura?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros o evidencias de que la especie cause un impacto a los sistemas acuícolas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

12.- 3.04.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe información sobre el posible impacto de esta especie a los servicios ecosistémicos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

13.- 3.05.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay evaluaciones de los impactos socioeconómicos negativos por esta especie (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

B.- BIOLOGÍA / ECOLOGÍA

4.- Rasgos no deseables (o persistencia)

14.- 4.01.- ¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Algunas estrellas del género *Astropecten* tienen la capacidad de producir una toxina llamada tetrodotoxina. Esta toxina fue aislada primeramente de peces globo de la familia Tetraodontidae. Desde entonces, se ha encontrado tetrodotoxina en una variedad de otras especies, incluyendo tritones del género *Taricha*, sapos del género *Atelopus*, pulpos del género *Hapalochlaena* y estrellas de mar del género *Astropecten*. De hecho, desde su descubrimiento inicial, se ha informado la presencia de tetrodotoxina en al menos seis filos de organismos, incluidos los cordados, moluscos, equinodermos, quetognatos, artrópodos y gusanos platelmintos (Chau et al., 2011). La amplia distribución de la neurotoxina entre especies no relacionadas ha llevado a la aparición de diferentes teorías sobre los orígenes biogénicos de la molécula. En diciembre de 1979, se produjo un incidente de envenenamiento paralítico en Shimizu, prefectura de Shizuoka, Japón, debido a la ingesta de un caracol trompeta, "boshubora" *Charonia sauliae*. El agente causante se identificó inesperadamente como tetrodotoxina (TTX) que estaba contenida exclusivamente en la glándula digestiva de este molusco. Más tarde se demostró que el TTX provenía de la estrella de mar *A. polyacanthus*, a través de la cadena alimenticia (Noguchi et al., 1982; Narita et al., 1984). En 1982, se produjo otra intoxicación con otro caracol trompeta en la prefectura de Wakayama, y la toxina responsable fue nuevamente identificada como TTX (Narita, H., T. Noguchi, J. Maruyama, Y. Ueda, K. Hashimoto, Y. Watanabe y K. Hida, 1981, Occurrence of tetrodotoxin in a trumpet shell, "boshubora" *Charonia sauliae*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 47, 935-941; Maruyama, J., T. Noguchi, J. K. Jeon, K. Yamazaki y K. Hashimoto, 1983, Another occurrence of tetrodotoxin in a trumpet shell *Charonia sauliae*. J. Food Hyg. Soc. Japan 24, 465-468).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chau, R, Kalaitzis, J.A., Neilan, B.A. 2011. On the origins and biosynthesis of tetrodotoxin, *Aquatic toxicology* 104(1-2): 61-72. Narita, H., T. Noguchi, J. Maruyama, Y. Ueda, K. Hashimoto, Y. Watanabe & K. Hida. 1981. Occurrence of tetrodotoxin in a trumpet shell, "boshubora" *Charonia sauliae*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 47, 935-941. Maruyama, J., T. Noguchi, J. K. Jeon, K. Yamazaki & K. Hashimoto. 1983. Another occurrence of tetrodotoxin in a trumpet shell *Charonia sauliae*. J. Food Hyg. Soc. Japan 24, 465-468.

15.- 4.02.- ¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Si es posible que compita con otras especies nativas del Pacífico mexicano del mismo género como *Astropecten armatus* y *A. californicus* (Honey-Escandón et al., 2008). *Astropecten armatus* comparte algunas características ecológicas con *A. polyacanthus*, como por ejemplo, ambas se encuentran altamente asociadas a fondos arenosos, se encuentran ligeramente enterrados y se distribuyen desde la zona de intermareal inferior hasta unos 160 metros de profundidad (Kerstitch & Bertsch, 2007).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Honey-Escandón, M., Solís-Marín & F.A., Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano, *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl. 3): 57-73. Kerstitch, A. & Bertsch, H. 2007. *Sea of Cortez Marine Invertebrates*, 2nd edition, Sea Challengers, Monterey, California, 124 pp.

16.- 4.03.- ¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se sabe si *A. polyacanthus* pueda afectar directamente como depredador o parásito de alguna especie que se encuentra dentro de la lista de especies amenazadas o protegidas (NOM-059-SEMARNAT-2010) (DOF, 2010).

CONFIANZA: Baja

REFERENCIA: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

17.- 4.04.- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Debido a la similitud en las condiciones ambientales que se presentan en el área de distribución original de *A. polyacanthus* con la región del Pacífico central mexicano es muy posible que la especie pueda adaptarse y establecerse. Por el momento solo se tiene un registro de esta especie en el Pacífico Oriental Tropical particularmente en la bahía de Manzanillo, Colima. Para establecer el nivel de adaptabilidad de esta especie se requiere una búsqueda extensiva y dirigida para confirmar que la especie se encuentra establecida en la bahía o determinar si solo se trata de un registro aislado (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

18.- 4.05.- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No se tienen reportes de que la presencia o introducción de la especie haya causado alguna alteración a las redes tróficas. Debido a la escasa información ecológica que se tiene de esta especie y los pocos registros, no se puede determinar con certeza si esta especie causa alteraciones serias a la estructura de las comunidades nativas. Sin embargo, puede ser una especie competitiva y puede desplazar o eliminar otras especies del mismo género con las cuales puede compartir nichos ecológicos similares. Todas las especies de *Astropecten* son depredadores activos en invertebrados en la fauna. Se considera que el género es uno de los más especializados tróficamente entre los asteroideos, aunque la variación en la amplitud del nicho de alimentos ocurre cuando las especies congéneras son simpátricas (Lawrence, 2013). No hay registros de alguna otra especie de este género que haya sido introducida a un área nueva.

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Lawrence, J.M. 2013. Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea, The John Hopkins University Press, 267 pp.

19.- 4.06.- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información o registros de afectaciones a servicios por especies del género *Astropecten*. Debido a sus hábitos crípticos y dieta especializada en pequeños invertebrados como bivalvos es poco probable que genere impactos negativos a algún servicio ecosistémico (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

20.- 4.07.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros de plagas o agentes infecciosos transmitidos por asteroideos en la región del Pacífico mexicano ni tampoco que sean transmitibles por *A. polyacanthus* (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

21.- 4.08.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros de plagas o agentes infecciosos transmitidos por asteroideos.

CONFIANZA: Media

22.- 4.09.- ¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: *Astropecten polyacanthus* llega a medir hasta 15 cm (6 pulgadas) pero generalmente alcanza menos de 8 cm (Chao, 1999). El ejemplar más grande encontrado en Manzanillo, Colima presentó una talla de 9.5 cm (Galván-Villa datos sin publicar).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Chao, S. 1999, A revision of the family Astropectinidae (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan, with description of five new records, *Zoological Studies* 38(3): 257-267

23.- 4.10.- ¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es una especie que se mantiene generalmente enterrada en el sustrato arenoso y solo emerge ocasionalmente en busca de alimento, por lo que su movilidad o resistencia a fuertes corrientes de agua es limitada (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

24.- 4.11.- ¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe información al respecto, es poco probable ya que al ser una especie que habita fondos arenosos en busca de alimento como moluscos (bivalvos y gasteropodos), pequeños crustaceos (por ejemplo cumaceos), ofiuros y gusanos poliquetos, no provoca cambios en el hábitat (Lawrence, 2013). Las especies del género *Astropecten* pueden ser alimentadores de depósitos no selectivos que explotan la materia orgánica de los sedimentos y tienen una dieta mixta o pueden ser depredadores selectivos consumidores de varios taxones (Jangoux, 1982; Nojima, 1988).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. 2013. *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*, The John Hopkins University Press, 267 pp. Nojima, S. 1988. Stomach contents and feeding habits of four sympatric sea stars, genus *Astropecten* (Echinodermata: Asteroidea) from northern Kyushu, Japan. *Publications from the Amakusa Marine Biological Laboratory* 9(2): 67-76. Jangoux, M. 1982. Food and feeding mechanism: Asteroidea. En: Jangoux, M. & Lawrence, J.M. (Eds.), *Echinoderm Nutrition*, pp: 117-159.

25.- 4.12.- ¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se han encontrado algunos pocos ejemplares en la bahía de Santiago, Manzanillo (Cristian Galván observaciones personales). El primer ejemplar se encontró en noviembre de 2017 cerca de la localidad de Los Frailes a 50 metros de profundidad. Otros tres ejemplares se encontraron posteriormente en 2018 en las playas Club de Yates y La Audiencia, estos se encontraban entre 7 y 10 metros de profundidad. Los ejemplares presentaron variedad en sus tallas, por lo que se puede pensar que están desarrollándose dentro de las bahías de Manzanillo, Colima.

CONFIANZA: Alta

5.- Utilización de recursos

26.- 5.01.- ¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: La estrella de mar pasa gran parte de su tiempo enterrada en el lecho marino limoso o fangoso. Se alimenta de detritos y moluscos bivalvos y gastrópodos que se traga enteros. También a veces engulle guijarros y digiere la biopelícula y los pequeños invertebrados que se adhieren a la superficie (Schoppe, 2000). No se encuentran especies amenazadas o protegidas en México que pudieran ser depredadas por *A. polyacanthus* (DOF, 2010).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Schoppe, S. 2000 A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp. DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

27.- 5.02.- ¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se ha registrado que consuman gran cantidad de nutrientes. La estrella de mar pasa gran parte de su tiempo enterrada en el lecho marino limoso o fangoso. Se alimenta de detritos y moluscos bivalvos y gastrópodos que se traga enteros. También a veces engulle guijarros y digiere la biopelícula y los pequeños invertebrados que se adhieren a la superficie (Schoppe, 2000).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Schoppe, S. 2000 A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp.

6.- Reproducción

28.- 6.01.- ¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha encontrado que la fecundidad de la especie muestra aumentos exponenciales con el aumento en el tamaño corporal, el peso corporal y el peso gonadal. Las hembras de *A. polyacanthus* producen grandes cantidades de huevos pequeños (hasta 90 μ). Roff (1992) predice que las hembras deberían producir más huevos, pero pequeños en condiciones ambientales favorables. El estado nutricional de las hembras, el tamaño de las hembras y el cuidado parental también se relacionan con la cantidad de huevos producidos. Estos factores reflejan el concepto entre los modelos de desarrollo de huevos pequeños/larvas que se alimentan y huevos grandes/larvas que no se alimentan (Hellal et al., 2012).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roff, D.A. 1992. The evolution of life histories theory and analysis. Chapman and Hall, New York, 535 pp. Hellal, A.M., Gab-Alla, A.A., Mohamed, S.Z., Morsy, N.K. 2012. Reproductive strategy of the common star fish, *Astropecten polyacanthus* (Echinodermata: Asteroidea) from Suez Canal Lakes, Egypt. Egypt J. Aquat. Biol. & Fish. 16(4): 113-128.

29.- 6.02.- **¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En la costa del Pacífico mexicano se pueden encontrar condiciones ambientales favorables para la reproducción de *A. polyacanthus* como por ejemplo fondos arenosos, fangosos y limosos, así como alimento (nutrientes) aprovechables por la especie para su desarrollo hasta etapas reproductivas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

30.- 6.03.- **¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Se desconoce debido a que la hibridación no se ha reportado en condiciones naturales.

CONFIANZA: Alta

31.- 6.04.- **¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Las especies del género *Astropecten* pueden reproducirse solamente de manera sexual, son gonocóridos (i.e. un sexo por cada organismo) con una proporción igual entre machos y hembras en poblaciones naturales (Ventura, 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Ventura, C. 2013. *Astropecten*. En: Starfish: biology and ecology of the Asteroidea. Lawrence, J.M. (Ed.). Baltimore: The Johns Hopkins University Press, pp: 101-108.

32.- 6.05.- **¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La estrella pasa gran parte de su tiempo enterrada en el lecho marino en fondos suaves (arenoso, limoso, fangoso) (Chao, 1999).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chao, S. 1999. A revision of the family *Astropectinidae* (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan, with description of five new records. *Zoological Studies* 38(3): 257-267.

33.- 6.06.- **¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran número de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La fecundidad se define como el número de ovocitos maduros por hembra. En Great Bitter Lake, Egipto, la fecundidad de las hembras recolectadas (158 individuos) varió entre 7,260 ovocitos en julio y 4,800,000 de ovocitos en noviembre. La fecundidad promedio en esta región mostró una marcada fluctuación mensual. El promedio más alto de fecundidad se registró en noviembre, con un valor de 1,691,787 ovocitos, mientras que el promedio más bajo (122,290) se registró en octubre. En el lago Timsah, la fecundidad de las hembras examinadas (101 individuos) osciló entre 20,580 ovocitos en el mes de marzo y 7,465,860 en diciembre. La fecundidad promedio mensual fluctuó de un mes a otro, con un promedio más alto en diciembre

(2,731,400 de ovocitos), mientras que el promedio más bajo (401,675 ovocitos) se observó en el mes de marzo (Hellal et al., 2012).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hellal, A.M., Gab-Alla, A.A., Mohamed, S.Z. & Morsy, N.K. 2012. Reproductive strategy of the common star fish, *Astropecten polyacanthus* (Echinodermata: Asteroidea) from Suez Canal Lakes, Egypt. Egypt J. Aquat. Biol. & Fish. 16(4): 113-128.

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: Estimaciones para especies de *Astropecten* indican que la tasa de crecimiento es altamente estacional. No se tiene un registro del tiempo que tarda la especie en llegar a la primera reproducción. Se ha observado que las hembras son maduras en un tamaño más pequeño que los machos. Los diámetros de disco "r" para las hembras maduras más pequeñas fueron de entre 6.4 y 11 mm, mientras que los machos más pequeños tenían de 7.7 a 11.7 mm de diámetro (Hellal et al., 2012).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Hellal, A.M., Gab-Alla, A.A., Mohamed, S.Z. & Morsy, N.K. 2012. Reproductive strategy of the common star fish, *Astropecten polyacanthus* (Echinodermata: Asteroidea) from Suez Canal Lakes, Egypt. Egypt J. Aquat. Biol. & Fish. 16(4): 113-128.

7.- Mecanismos de dispersión

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: 1. Puede darse el transporte de larvas en el agua de lastre de los buques. 2. Recolecta directa de ejemplares, debido a que la estrella es pequeña y fácil de transportar puede ser colectada con fines ornamentales y posteriormente liberada en otros lugares. 3. Dispersión de larvas por corrientes marinas (Bryne et al., 1997; Dommissé & Hough, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Bryne M., Morrice, M.G. & Wolf, B., 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Marine Biology* 127: 637-685; Dommissé, M. & Hough, D. 2003. Entrainment of the North Pacific seastar, *Asterias amurensis*, in non-ballast vectors: Ships hulls, aquaculture and fishing gear. In Abstracts: Third International Conference on Marine Bioinvasions, March 16-19, 2003. Scripps Institution of Oceanography La Jolla, California.

36.- 7.02.- ¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Mediante el sistema de corrientes es posible que las larvas pueden dispersarse a otras zonas del Pacífico mexicano incluyendo áreas protegidas (Portela et al., 2016). No se ha evaluado la tasa de dispersión para esta especie, pero para otras estrellas de mar como *Asterias amurensis* se ha encontrado evidencia de que las larvas planctotróficas pueden permanecer por varios meses inmersas en el plancton marino, con lo cual pueden llegar a recorrer grandes distancias a través de las corrientes marinas (Bryne et al., 1997).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Portela, E., Beier, E., Barton, E.D., Castro, R., Godínez, V., Palacios-Hernández, E., Fiedler, P.C., Sánchez-Velasco, L.]& Trasviña, A. 2016. Water Masses and Circulation in the Tropical Pacific off Central

Mexico and Surrounding Areas. Journal of Physical Oceanography 46: 3069-3081. Bryne M., Morrice, M.G. & Wolf, B., 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. Marine Biology 127: 637-685.

37.- 7.03.- ¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es una especie que permanece enterrada en el fondo marino (Chao, 1999).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chao, S.M. 1999. A Revision of the Family Astropectinidae (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan, with Description of Five New Records. Zoological Studies 38(3): 257-267.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede darse la dispersión de larvas por corrientes marinas, por lo tanto, el potencial de dispersión es alto, y algunas especies también tienen un amplio rango de distribución (por ejemplo, *A. monacanthus* y *A. polyacanthus*) (Zulliger, 2009).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Zulliger, D. 2009. Phylogeography, evolutionary history and genetic diversity of sea stars of the genus *Astropecten* and genetic structure within the Atlanto-Mediterranean species *A. aranciacus*. University of Zurich, Faculty of Science. Postprint available at: <http://www.zora.uzh.ch>.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede darse la dispersión de larvas por corrientes marinas, por lo tanto, el potencial de dispersión es alto, y algunas especies también tienen un amplio rango de distribución (por ejemplo, *A. monacanthus* y *A. polyacanthus*) (Zulliger, 2009).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Zulliger, D. 2009. Phylogeography, evolutionary history and genetic diversity of sea stars of the genus *Astropecten* and genetic structure within the Atlanto-Mediterranean species *A. aranciacus*. University of Zurich, Faculty of Science. Postprint available at: <http://www.zora.uzh.ch>.

40.- 7.06.- ¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie con alta movilidad. La locomoción varía en relación al tipo de sedimento, temperatura del agua y el tamaño del organismo. La locomoción de las especies de *Astropecten* en ambientes con sustratos suaves es muy eficiente. Dentro del grupo de los asteroideos (Estrellas de mar) las especies del género *Astropecten* presentan las tasas más altas de movimiento (Feder & Christensen, 1966).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Feder, H.M. & Christensen, A.M. 1966. Aspects of asteroid biology. En: Physiology of Echinodermata. Booloottian, R.A. (Ed.), Wiley, New York, pp. 87-125.

41.- 7.07.- ¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Las larvas tienden a asentarse en el fondo inmediatamente. La mayoría de las especies de *Astropecten* parecen tener lo que Mortensen (1921, 1937) consideraba una larva bipinnaria típica, que se metamorfosea en la columna de agua y se establece como una estrella de mar juvenil (Clark & Downey, 1992). La crianza en laboratorio ha demostrado que la etapa planctónica suele durar aproximadamente entre 19 y 25 días (Mortensen, 1921; Newth, 1925; Mortensen, 1937; Ventura et al., 1997). Komatsu (1975) encontró una larva en forma de barril de *A. latespinosus* que completó la metamorfosis aproximadamente 5 días después de la fertilización. Mientras que las larvas de bipinnaria en *A. polyacanthus* y *A. velitaris* también pueden tener etapas planctónicas cortas de solo 3-5 días (Mortensen, 1937). La larva de *A. aranciatus* vive hasta 60 días (Hörstadius, 1938). Aunque las observaciones sobre el desarrollo larvario en condiciones de laboratorio no corresponden necesariamente con el desarrollo en la naturaleza, podemos suponer que la etapa planctónica en varias especies de *Astropecten* es bastante larga.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Mortensen, T. 1921. Studies of the development and larval forms of echinoderms. G. E. C. Gad, Copenhagen. Mortensen, T. 1937. Contributions to the study of the development and larval forms of echinoderms III. K. Dansk. Vidensk. Selsk. Skr., Naturvid. Math. Afd. 9, 7(1): 1-65. Clark, A. M. & Downey, M. E. 1992. Starfishes of the Atlantic. Chapman and Hall, London. Newth, H. G. 1925. The early development of *Astropecten irregularis*, with remarks on duplicity in echinoderm larvae. Quart. J. Micr. Sci. 69:5 19-554. Hörstadius, S. 1938. Über die Entwicklung von *Astropecten aranciatus* L. Pubblicazioni della Stazione Zoologica Napoli 17: 221-312. Komatsu, M. 1975. On the development of the sea-star, *Astropecten latespinosus* Meissner. Biol. Bull. 148: 49-59.

42.- 7.08.- **¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe información precisa, sin embargo, por sus hábitos ecológicos y desarrollo se puede pensar que la dispersión no sería muy rápida (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

43.- 7.09.- **¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe información precisa para esta especie. En otras especies del mismo género se ha encontrado que presentan estrategias de comportamiento para evitar la competencia y permitir su coexistencia. Un análisis de la amplitud del nicho de alimentación de otras especies de estrellas de mar similares indicó que *Astropecten brasiliensis* presenta un nicho de alimentación más amplio que otras especies a 45 m, y que *Astropecten cingulatus* y *Luidia ludwigi scotti* mostraron una mayor amplitud del nicho de alimentación donde *A. brasiliensis* no ocurre (a 60 m) (Ventura et al., 2001). En otro estudio se encontró que los cambios en la distribución espacial de *Astropecten irregularis* sugieren que esta especie migra en alta mar hacia aguas más profundas durante los meses de invierno, probablemente para evitar fuertes oleajes. Las altas densidades de esta estrella de mar que se producen durante los meses de verano pueden estar asociadas con agregaciones para el desove o por la disponibilidad de presas (Freeman et al., 2001).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Ventura, C.R.R., Grillo, M.C.G. & Fernandes, F.C. 2001. Feeding niche breadth and feeding niche overlap of paxilloid starfishes (Echinodermata: Asteroidea) from a midshelf upwelling region, Cabo Frio, Brazil. En: Echinoderms: San Francisco (Mooi, R. & Telford, M. (Eds.). Balkema, Rotterdam, the Netherlands. Freeman, S.M., Richardson, C.A. & Seed, R. 2001. Seasonal Abundance, Spatial Distribution, Spawning and Growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). Estuarine, Coastal and Shelf Science 53(1): 39-49.

8.- Atributos de tolerancia

44.- 8.01.- **¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es un organismo marino. No se tiene registro del tiempo que puede soportar fuera del agua (Schoppe, 2000).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Schoppe, S. 2000. A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp.

45.- 8.02.- **¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Se pueden mantener en cualquier acuario, pero es importante q tenga una buena cantidad de arena para la alimentación y recreación del hábitat natural de la estrella. El rango de temperatura es entre los 24º y los 28ºC. En la calidad del agua, requiere pH de entre 8,1 y 8,3; salinidad de entre 1021 y 1024 US (<https://foro.portalpez.com/threads/astropecten-polyacanthus-estrella-de-arena.23608/>).

CONFIANZA: Baja

46.- 8.03.- **¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se han aplicado técnicas de control mediante agentes químicos en otras estrellas de mar como *Acanthaster planci*, la cual ha resultado efectiva pero costosa por los materiales que se requieren (Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office, 2012). Por otro lado, se han realizado pruebas para realizar el control utilizando otras especies de estrellas de mar, sin embargo, esto requiere más investigación para determinar que especies potencialmente pueden fungir como biocontroladores (Parry, 2017).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office. 2012. Crown-of-thorns starfish control manual. Kuroshio Biological Research Foundation. Parry, G.D. 2017. Potential for biocontrol of the exotic starfish, *Asterias amurensis*, using a native starfish. *Biological Invasions* 19: 2185-2196.

47.- 8.04.- **¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe información sobre como esta especie puede beneficiarse de disturbios ambientales o antropogénicos.

CONFIANZA: Baja

48.- 8.05.- **¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay información respecto a la tolerancia en cambios de salinidad para esta especie. Se ha reportado que el rango de salinidad adecuado para esta especie en acuarios es de entre 1021-1024 US (<https://foro.portalpez.com/threads/astropecten-polyacanthus-estrella-de-arena.23608/>).

CONFIANZA: Baja

49.- 8.06.- **¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se han reportado varios posibles depredadores de otras estrellas de mar del género *Astropecten*, incluso se han encontrado casos de depredación por parte de las mismas estrellas (Schmid, 1981; Schimid & Schaerer, 1981). En la región se encuentran otras cuatro especies de *Astropecten* (*A. armatus*, *A. californicus*, *A. ornatissimus*, *A. regalis*), algunas de estas son de mayor tamaño que *A. polyacanthus*, por lo que pueden ser depredadores potenciales de *A. polyacanthus* (Honey-Escandón et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Schmid, P.H. 1981. Ossicle morphology of four sea star species of the genus *Astropecten* (Asteroidea: Echinodermata) and its bearing on the investigation of a predator's diet. P.S.Z.N.: Marine Ecology 2: 199-206; Schimid, P.H. & Schaerer, R. 1981. Predator-prey interaction between two competing sea star species of the genus *Astropecten*. P.S.Z.N.: Marine Ecology 2: 207-214. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. Revista de Biología Tropical 56: 57-73.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Ya se han registrado organismos de la especie en el Pacífico mexicano (Galván-Villa datos sin publicar). De acuerdo a los modelos de predicción de las condiciones oceánográficas se espera un incremento en la temperatura de los mares, esto puede favorecer el asentamiento y desarrollo de esta especie debido a su afinidad a las condiciones tropicales (Schoppe, 2000; Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Schoppe, S. 2000. A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp; Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

51.- 9.02.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: El reclutamiento de estrellas de mar puede estar ligado a la productividad si la abundancia de fitoplancton influye en la supervivencia de sus larvas. De esta forma la tasa de asentamiento puede incrementarse, sin embargo, se requieren investigaciones para determinar con mayor certeza los cambios que se presentarían por factores ambientales específicamente para esta especie (Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

52.- 9.03.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: No se sabe que efectos tendrán los cambios en las condiciones oceánográficas sobre *A. polyacanthus*. Sin embargo, de manera más amplia para diversos grupos de invertebrados, los riesgos de dispersión están relacionados principalmente con los sistemas de corrientes. Por lo que, posibles cambios en estos sistemas pueden afectar la dispersión de muchas especies, en algunos casos favoreciéndola y en otros

limitandola (Byrne et al., 2016; Kendall et al., 2016). Podemos suponer que el aumento de la temperatura promedio en la región del Pacífico mexicano podría beneficiar el transporte y asentamiento de larvas de la estrella de mar *A. polyacanthus*.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887. Kendall, M.S., Poti, M., Karnauskas, K.B. 2016. Climate change and larval transport in the ocean: fractional effects from physical and physiological factors. *Global Change Biology* 22: 1532-1547.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: No se predice ningún impacto en la estructura del ecosistema. Se puede esperar que la magnitud de los impactos producidos o esperados por la introducción de *A. polyacanthus* en la costa del Pacífico mexicano no presenten cambios significativos, esto debido principalmente a que esta especie habita un ambiente poco propenso a afectaciones por el cambio climático (Byrne et al., 2016).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Byrne, M., Gall, M., Wolfe, K. & Agüera, A. 2016. From pole to pole: the potential for the Arctic seastar *Asterias amurensis* to invade a warming Southern Ocean. *Global Change Biology* 22: 3874-3887.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: No se predice ningún impacto en la estructura del ecosistema por la presencia de la especie, incluso en el aumento de la población (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información para predecir algún impacto en los servicios ecosistémicos o afectaciones al sector socioeconómico en la región del Pacífico mexicano por la presencia de *Astropecten polyacanthus*; sin embargo, se requieren investigaciones para realizar predicciones más precisas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

Anexo 4. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Luidia magnifica*.

[AS-ISK v2 InformeLuidia magnifica.xlsx](#)

Nombre del taxón: *Luidia magnifica*

A.- BIOGEOGRÁFICO / HISTÓRICO

1.- 1.01.- ¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: La especie se comercializa via internet como organismo ornamental, sin embargo, no se sabe si estos organismos son capturados o son cultivados (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

2.- 1.02.- ¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No hay evidencias de registros de capturas de esta especie, sin embargo, se puede llegar a comercializar a través de paginas web como especie ornamental, por lo que se supone que hay captura de organismos silvestres (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

3.- 1.03.- ¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros de otras especies del género *Luidia* reconocidas como especies invasoras (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. (Ed.) (2013). Starfish: Biology and ecology of the Asteroidea. The Johns Hopkins University Press: Baltimore. ISBN 978-1-4214-0787-6. viii, 267 pp.

2.- Clima, distribución y riesgo de introducción

4.- 2.01.- ¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?

RESPUESTA: Medio

JUSTIFICACIÓN: Por su ubicación el Pacífico mexicano es la región con mayor probabilidad de ser invadida por la estrella *Luidia magnifica*. En el Pacífico mexicano predominan condiciones tropicales. Con valores de temperatura de entre 25 y 28°C en invierno y un promedio de 29.5°C en verano. Se presenta un regimen mesomareal, mixto, semidiurno, siendo un mar tropical con influencia invernal del extremo sur de la corriente de California. Se presentan costas rocosas, costas arenosas, lagunas costeras, estuarios, sistemas deltaicos generalmente pequeños, parches arrecifales y manglares. Por el otro lado, La región de Hawai se caracteriza por temperaturas promedio de 24°C en invierno y de 23 a 27 en verano. Se encuentran arrecifes de corales bordeantes, atolones, bancos de coral, montañas submarinas, sistemas pelágicos del océano abierto (Wilkinson et al., 2009). Mediante la herramienta Climatch se encontró una similitud media en las condiciones climáticas entre la región de las islas de Hawai (área nativa para *Luidia magnifica*) y el Pacífico de México (<https://climatch.cp1.agriculture.gov.au/climatch.jsp>).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Wilkinson, T., J. Bezaury-Creel, F. Gutiérrez, T. Hourigan, L. Janishevski, C. Madden, M. Padilla & E. Wiken. 2009. Marine spaces: North America's Marine Ecological Regions, Commission for Environmental Cooperation, Montreal, 200 pp.

5.- 2.02.- ¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: La regionalización de las ecorregiones marinas se realizó mediante un sistema de clasificación y un mapa con el proposito de definir unidades congruentes, normalizadas y comprensibles dentro de las aguas oceánicas y costeras, se utilizó un sistema de escala ajustable, orientado a los ecosistemas y vinculado con los mapas y clasificaciones ya existentes. La mayoría de las variables empleadas para definir las ecorregiones son oceanográficas o fisiográficas; reflejan la variedad de condiciones que influyen en la

distribución de las especies, y sirven de sustitutos prácticos de datos biológicos incompletos o de formato incompatible a escala de América del Norte (Wilkinson et al., 2009).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Wilkinson, T., J. Bezaury-Creel, F. Gutiérrez, T. Hourigan, L. Janishevski, C. Madden, M. Padilla & E. Wiken. 2009. Marine spaces: North America's Marine Ecological Regions, Commission for Environmental Cooperation, Montreal, 200 pp.

6.- 2.03.- ¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Durante buceos nocturnos recreativos en la bahía de Manzanillo, Colima en julio de 2017 se encontraron varios ejemplares de la estrella de mar *Luidia magnifica*, en visitas posteriores en mayo 2018 se encuentran más ejemplares en la playa de Club de Yates (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

7.- 2.04.- ¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?

RESPUESTA: Un

JUSTIFICACIÓN: Por medio del transporte de larvas a través del agua de lastre de barcos (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

8.- 2.05.- ¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La especie ya se encuentra establecida en la bahía de Manzanillo (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

3.- Invasora en otros sitios

9.- 3.01.- ¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Ya se encuentra una población bien establecida en la bahía de Manzanillo (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

10.- 3.02.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: De momento no se conoce o se tiene evidencia de un impacto a poblaciones silvestres o taxones de importancia en el área de Manzanillo, Colima (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

11.- 3.03.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuicultura?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: De momento no se conoce o se tiene evidencia de un impacto a la acuicultura en el área de Manzanillo, Colima (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

12.- 3.04.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: De momento no se conoce o se tiene evidencia de un impacto negativo a servicios ecosistémicos en el área de Manzanillo, Colima (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

13.- 3.05.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: De momento no se conoce o se tiene evidencia de un impacto socioeconómico en el área de Manzanillo, Colima (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

B.- BIOLOGÍA / ECOLOGÍA

4.- Rasgos no deseables (o persistentes)

14.- 4.01.- ¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No existen evidencias de que la especie sea venenosa o de riesgo para los seres humanos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

15.- 4.02.- ¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Al igual que otros miembros del género *Luidia*, es probable que *L. magnifica* sea un depredador oportunista de la macrofauna y posiblemente también como sedentívoro en busca de microorganismos inmersos en el sedimento. Otras especies relacionadas se favorecen con una dieta de moluscos bivalvos y equinoides. La estrella de mar Magnífica puede moverse rápidamente, pareciendo deslizarse sobre el lecho marino arenoso. Consume alimentos de gran tamaño, los digiere en sus dos estómagos y procesa aún más los restos en el ciego pilórico en la base de sus brazos. Luego expulsa cualquier material no digerido a través de su ano (Chiu et al., 1986; Barnes, 1982).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Chiu, S. T.; V. W. W. Lam; Paul K. S. Shin. 1986. Further observations on the feeding biology of *Luidia* spp. in Hong Kong. pp. 907–933. Barnes, R. D. 1982. Invertebrate Zoology. Philadelphia, PA: Holt-Saunders International. pp. 939–945.

16.- 4.03.- ¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Debido a su gran tamaño capaz de alcanzar hasta 33 pulgadas de diámetro (83 cm), es una de las estrellas de mar más grandes del mundo, por lo que es considerada una especie con gran potencial depredador sobre todo de invertebrados marinos (Galtsoff, 1933; Hoover, 1999).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Galtsoff, P. S. 1933. Pearl and Hermes reef, Hawaii, hydrographical and biological observations. Bernice P. Bishop Museum Bulletin no. 107: 49 pp. Hoover, J. P. 1999. Hawai'i's sea creatures: a guide to hawai'i's marine invertebrates. Mutual publishing, 366 pp.

17.- 4.04.- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se desconoce sobre las capacidades de adaptación que presenta la especie. Los registros obtenidos en Manzanillo son los primeros, desde 1906 cuando fue descrita, fuera de su área de distribución natural (i.e. islas de Hawái). Por lo que se sabe, es una especie restringida a ambientes tropicales (Hoover, 1999); sin embargo, su persistencia en la bahía de Santiago, Manzanillo, indica que puede adaptarse a distintas condiciones (Galván-Villa observaciones personales). Los primeros registros en Manzanillo se hicieron en julio de 2017 y desde entonces se ha seguido un monitoreo de la población.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Hoover, J. P. 1999. Hawai'i's sea creatures: a guide to hawai'i's marine invertebrates. Mutual publishing, 366 pp.

18.- 4.05.- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No existen aun registros, pero debido a sus hábitos alimenticios y talla máxima puede convertirse en un depredador voraz que afecte a varias poblaciones de invertebrados marinos nativos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

19.- 4.06.- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen evaluaciones del impacto causado por *L. magnifica* o especies cercanas a servicios o productos ecosistémicos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

20.- 4.07.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros.

CONFIANZA: Baja

21.- 4.08.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha reportado que *Luidia magnifica* puede ser parasitada por el gusano poliqueto *Ophiodromus pugettensis* el cual se distribuye desde el sur de Seattle, EUA hasta el oeste de México y Golfo de California (Storch & Rosito, 1981).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Storch, V. & Rosito, R. M. 1981. Polychaetes from interespe-cific associations found off Cebu. The Philippine Scientist 18: 1-9.

22.- 4.09.- **¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Luidia magnifica* puede crecer un gran tamaño (hasta 80 cm). Se encontró que un espécimen en el atolón de Pearl y Hermes, Hawaii, tenía 84 centímetros (33 pulgadas) de diámetro (Galtsoff, 1933). En los registros encontrados en 2017 en la playa Club de Yates en Manzanillo la talla máxima encontrada fue de 13 cm de radio mayor (R), por lo que los ejemplares de Manzanillo aun no se desarrollan por completo (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Galtsoff, P. S. 1933. Pearl and Hermes reef, Hawaii, hydrographical and biological observations. Bernice P. Bishop Museum Bulletin no. 107: 49 pp.

23.- 4.10.- **¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es una especie de hábitos crípticos y nocturnos, altamente asociada a sustratos suaves. Durante buceos realizados en la playa de Club de Yates, Manzanillo no se observaron ejemplares durante el día, debido a que se encuentran enterradas en la arena (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

24.- 4.11.- **¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Debido a sus hábitos crípticos la especie permanece la mayor parte del tiempo enterrada en el fondo, solo por la noche sale en busca de alimento, sin causar mayores alteraciones en el ambiente (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

25.- 4.12.- **¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie habita zonas arenosas en aguas poco profundas. Aunque no se conoce el ciclo reproductivo de *L. magnifica* otros miembros de la clase Asteroidea exhiben medios de reproducción asexuales (regeneración y clonales) y sexuales (gonocóricos). Ciclo de vida: los embriones eclosionan en larvas planctónicas y luego se metamorfosean en juveniles pentamorosos que se convierten en estrellas de mar jóvenes con brazos rechonchos (Ruppert et al., 2004; Schoppe, 2000).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Ruppert, E. E., Fox, R. S. & Barnes, R. D. 2004. Invertebrate Zoology. A functional evolutionary approach. 7th Ed. Brooks/Cole, Thomson Learning learning, Inc. 990 pp. Schoppe, S. 2000 A guide to common shallow water sea stars, brittle stars, sea urchins, sea cucumbers and feather stars (echinoderms) of the Philippines. Times Media Private Limited, Singapore. 144 pp.

5.- Utilización de recursos

26.- 5.01.- **¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene registro de especies amenazadas que sean consumidas por la estrella *Luidia magnifica*. Tampoco se cuenta con información sobre sus hábitos alimenticios en la región del Pacífico mexicano.

CONFIANZA: Baja

27.- 5.02.- ¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tiene registro preciso de los alimentos que consume *Luidia magnifica* en el área de Manzanillo. En algunos ejemplares encontrados se ha observado que depredan otras especies de estrellas de mar e incluso canibalismo (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

6.- Reproducción

28.- 6.01.- ¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Debido a su reproducción por liberación de gametos o por medios asexuales como fisiparidad no es una especie que presente cuidado parental (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. (Ed.) (2013). *Starfish: Biology and ecology of the Asteroidea*. The Johns Hopkins University Press: Baltimore. ISBN 978-1-4214-0787-6. viii, 267 pp.

29.- 6.02.- ¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Debido a que en la región del Pacífico mexicano se presentan condiciones de tipo subtropical es muy posible que la estrella de mar *L. magnifica* encuentre condiciones adecuadas para su reproducción, sin embargo, no se cuenta con información sobre sus aspectos reproductivos. De manera directa se observaron ejemplares de la estrella de mar en Manzanillo, Colima abultados por la producción de gametos, lo que puede dar un indicio de su capacidad para reproducirse en esta zona (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

30.- 6.03.- ¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existe evidencia de hibridación en el género *Luidia*.

CONFIANZA: Baja

31.- 6.04.- ¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha reportado la reproducción asexual en especies de *Luidia*. Las etapas larvales tempranas de las estrellas de mar se conocen como larvas bipinnaria, y los miembros de este género no continúan su desarrollo después de esta etapa en una etapa braquiolaria antes de sufrir sus metamorfosis. Sin embargo, son capaces de clonar larvas, con reproducción asexual mientras son larvas. Se ha demostrado que esto tiene lugar tanto en el campo como en cultivos de laboratorio y se ha estudiado mediante análisis molecular de secuencias de ARNt mitocondrial para identificar los taxones involucrados (Knott et al., 2003).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Knott, K. E., Balsler, E. J., Jaeckle, W. B. & Wray, G. A. 2003. Identification of Asteroid Genera With Species Capable of Larval Cloning, *The Biological Bulletin* 204(3): 246-255.

32.- 6.05.- ¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie que requiere sustratos suaves (arenas) para desarrollarse (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. (Ed.) (2013). *Starfish: Biology and ecology of the Asteroidea*. The Johns Hopkins University Press: Baltimore. ISBN 978-1-4214-0787-6. viii, 267 pp.

33.- 6.06.- ¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran número de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No se conoce la tasa de fecundidad para esta especie.

CONFIANZA: Baja

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No existen registros del tiempo que requiere la especie para alcanzar la edad de primera madurez

CONFIANZA: Baja

7.- Mecanismos de dispersión

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: Un

JUSTIFICACIÓN: Se cree que la introducción de la estrella de mar *L. magnifica* a la bahía de Manzanillo, Colima pudo ser por medio del agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto. En este sentido es posible que larvas de esta estrella viajaron a través de las rutas comerciales y finalmente fueron liberadas en el puerto (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

36.- 7.02.- ¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La introducción de la especie puede presentarse en otros puertos como Mazatlán en Sinaloa o Lázaro Cárdenas en Michoacán, lo que puede provocar que la especie llegue a otras áreas incluyendo áreas naturales protegidas. De manera particular en Manzanillo, Colima la estrella puede expandirse por toda la bahía (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

37.- 7.03.- ¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es una especie adaptada para vivir enterrada en sustratos suaves como arena (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. 2013. Luidia. En: Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede llevarse a cabo la dispersión de la especie por medio de larvas (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Lawrence, J.M. 2013. Luidia. En: Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No hay un registro para la especie Luidia magnifica, sin embargo, se ha reportado para otras especies. La dispersión de larvas es una causa que permite la rápida colonización de estrellas de mar en otros lugares. Las estrellas de mar del género Luidia presentan larvas de tipo braquiolaria, la cual posee brazos adherentes que les permiten fijarse a sustratos en el asentamiento, esta característica puede facilitar su dispersión por medio de objetos flotantes (Flammang, 1996; Byrne et al., 2013).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Flammang, P. 1996. Adhesion in echinoderms. En: Echinoderm studies, vol. 5. Jangoux, M. and Lawrence, J.M. (Eds). Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1-60 pp. Byrne, M., O'Hara T.D., Lawrence, J.M. 2013. Asterias amurensis. En: Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp.

40.- 7.06.- ¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay registros de que la especie realice migraciones para la reproducción.

CONFIANZA: Baja

41.- 7.07.- ¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay registros de que otras especies favorezcan la dispersión de huevos o larvas de Luidia magnifica.

CONFIANZA: Baja

42.- 7.08.- ¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: Se desconoce.

CONFIANZA: Media

43.- 7.09.- **¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?**

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información al respecto.

CONFIANZA: Media

8.- Atributos de tolerancia

44.- 8.01.- **¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Las estrellas de mar del género *Luidia* habitan ambientes submareales. Son organismos que requieren del ambiente acuático para su supervivencia y no presentan fases tolerantes a largos periodos de sequía a diferencia de otras especies que habitan ambientes intermareales. Esto es debido a que la retención de agua en su cuerpo es especialmente importante para el organismo (Landenberger, 1969).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Landenberger, D.E. 1969. The Effects of Exposure to Air on Pacific Starfish and Its Relationship to Distribution. *Physiological Zoology* 42(2): 220-230.

45.- 8.02.- **¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay registros precisos para la especie *Luidia magnifica*. Salinidad: En general las especies del género *Luidia* no soportan bajas salinidades (<30%). Oxígeno: Algunas especies pueden soportar condiciones de hipoxia por un corto tiempo y tienen poca capacidad para sobrevivir en extremadamente bajas concentraciones de oxígeno (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Lawrence, J.M. 2013. *Luidia*. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp.

46.- 8.03.- **¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No se han implementado programas de control para *Luidia magnifica*. Sin embargo, se han utilizado agentes químicos para el control de otras estrellas de mar como *Acanthaster planci*. En este caso se ha utilizado una inyección de bisulfato de sodio o ácido acético en cada uno de los brazos y ha resultado un método eficaz pero costoso por los materiales que se requieren (Moran, 1986; Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office, 2012).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Moran, P. J. 1986. The *Acanthaster* phenomenon. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 24: 379-480. Chugoku-Shikoku Regional Environmental Office. 2012. Crown-of-thorns starfish control manual. Kuroshio Biological Research Foundation. 29 pp.

47.- 8.04.- **¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay información que haga referencia al beneficio por algún disturbio ambiental o antropogénico. Por observaciones personales se ha visto que la disminución en la temperatura media del agua afecta a esta especie, reduciendo el tamaño poblacional (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Media

48.- 8.05.- ¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: En general las especies del género *Luidia* no soportan bajas salinidades (<30%) (Marsh & Lawrence, 1985; Kack & Pomory, 2011).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Marsh, A.G. & Lawrence, J.M. 1985. The effects of cations on the activity of citrate synthase (EC 4.1.3.7) in *Luidia clathrata* (Say) (Echinodermata: Asteroidea). *Comparative Biochemistry and Physiology* 31B: 767-770. Kack, K.E. & Pomory, C.M. 2011. Salinity effects on arm regeneration in *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 44: 359-374.

49.- 8.06.- ¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay evidencias de depredadores para *Luidia magnifica*. Para otras especies del mismo género tampoco se tienen registros precisos y solo se sugiere que posibles depredadores pueden ser peces o cangrejos (Lawrence, 2013).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Lawrence, J. M. 2013. *Luidia*. En: *Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea*. J.M. Lawrence (Ed). Johns Hopkins, 267 pp.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: La especie ya se ha registrado en el Pacífico Mexicano específicamente en la bahía de Santiago, Manzanillo, Colima (Galván-Villa observaciones personales). Es posible que debido a los incrementos de la temperatura del mar esta especie se vea favorecida, debido a que es una especie asociada a ambientes tropicales (Cheng et al., 2019).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z. & Trenberth, K. E. 2019. How fast are the oceans warming?. *Science* 363(6423): 128-129.

51.- 9.02.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Holme (1984) sugiere que los cambios en las condiciones del agua afectan la apariencia larval y el reclutamiento en equinodermos. Sin embargo, en un estudio se examinaron los efectos subletales de la acidificación oceánica (OA) en el futuro cercano (año 2100) sobre la capacidad regenerativa, la composición bioquímica y el comportamiento de la estrella de mar *Luidia clathrata*, un depredador predominante en los hábitats subtropicales de fondo blando. Los resultados de este, indican que los niveles pronosticados de acidificación oceánica (agua de mar, pH 7.8) no afectan significativamente el crecimiento de todo el animal, las tasas de regeneración de brazos, la composición bioquímica o el comportamiento de enderezamiento en

esta estrella de mar de fondo blando común (Schram et al., 2011). Para otras especies (afines a regiones tropicales) el incremento en la temperatura de los océanos puede favorecer su desarrollo (Uthicke et al., 2015).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Holme, N.A. 1984. Fluctuations of *Ophiothrix fragilis* in the western English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 64: 351-378. Schram, J.B., McClintock, J.B., Angus, R.A. & Lawrence, J.M. 2011. Regenerative capacity and biochemical composition of the sea star *Luidia clathrata* (Say) (Echinodermata: Asteroidea) under conditions of near-future ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407(2): 266-274. Uthicke, S, Logan, M, Liddy, M, Francis, D, Hardy, N & Lamare, M. 2015. Climate change as an unexpected co-factor promoting coral eating seastar (*Acanthaster planci*) outbreaks. *Scientific Reports* 5: 8402.

52.- 9.03.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Holme (1984) sugiere que los cambios en las condiciones del agua afectan la apariencia larval y el reclutamiento. Para otras especies (afines a regiones tropicales) el incremento en la temperatura de los océanos puede favorecer su desarrollo (Uthicke et al., 2015).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Holme, N.A. 1984. Fluctuations of *Ophiothrix fragilis* in the western English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 64: 351-378. Uthicke, S, Logan, M, Liddy, M, Francis, D, Hardy, N & Lamare, M. 2015. Climate change as an unexpected co-factor promoting coral eating seastar (*Acanthaster planci*) outbreaks. *Scientific Reports* 5: 8402.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Al ser un depredador tope puede reducir significativamente poblaciones de especies locales y por consiguiente reducir la biodiversidad de la región, lo cual puede sumarse a los problemas ecológicos y ambientales que genera el incremento de la temperatura de los océanos (Cheng et al., 2019).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z. & Trenberth, K. E. 2019. How fast are the oceans warming?. *Science* 363(6423): 128-129.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Un incremento masivo de esta especie podría causar una alteración en las redes tróficas del Pacífico mexicano. Debido principalmente a que esta especie es un depredador tope, puede causar alteraciones en las comunidades bentónicas de la región provocar un desequilibrio ecológico en los ecosistemas costeros (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: Puede reducir las fuentes de alimentación para muchas especies de importancia comercial como por ejemplo moluscos bivalvos, y por consiguiente afectar a poblaciones humanas que dependen de estos recursos (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

Anexo 5. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Ophiactis savignyi*.

[AS-ISK v2 InformeOphiactis savignyi.xlsx](#)

Nombre del Taxón: *Ophiactis savignyi*

A.- BIOGEOGRÁFICO/ HISTÓRICO

1.- 1.01- **¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No es una especie cultivable o aprovechada comercialmente. Debido a su pequeño tamaño no es considerada de importancia comercial (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

2.- 1.02- **¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Debido a su talla pequeña (su disco alcanza apenas unos pocos milímetros) esta especie de ofiuro no tiene un uso comercial (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

3.- 1.03- **¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros o referencias que presenten reportes de otras especies del género *Ophiactis* como especies invasoras (Galván-Villa comentarios personales).

CONFIANZA: Media

2.- CLIMA, DISTRIBUCIÓN Y RIESGO DE INTRODUCCIÓN

4.-2.01- **¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?**

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: La especie se considera de distribución cosmopolita, la cual habita tanto regiones tropicales como subtropicales (Hickman, 1998; Roy & Sponer, 2002). Se ha tratado a *Ophiactis savignyi* como una especie nativa del Indo-Pacífico, que se distribuye desde Japón hasta el Mar Rojo, Sudáfrica y la Polinesia Francesa (Matsumoto, 1915). Frente a la costa Este de América, está reportada en Carolina del Sur y Bermudas, a través del Caribe y el Golfo de México (Hendler et al., 1995). Más al oeste en el Pacífico, donde se considera criptogénica (i.e. que no se tiene claro si es nativa o invasora), se extiende desde California hasta Perú, y también ocurre en Hawái, las Islas Galápagos y la Isla de Pascua (Fofonoff et al., 2018). La región del Pacífico mexicano cumple con las condiciones de una zona subtropical, con condiciones favorables para su desarrollo (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83. Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023. Matsumoto, H. 1915. A new classification of the Ophiuroidea: with description of new genera and species. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 68: 43-92. Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. & Kier, P. M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington, DC. Smithsonian Institution Press. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019.

5.- 2.02- **¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?**

RESPUESTA: #N/A

JUSTIFICACIÓN: No se generó un análisis climático debido a que la especie se encuentra establecida ampliamente en México, tanto en la costa Pacífica como en el Golfo de México y Mar Caribe (Granja-Fernández et al., 2014; Honey-Escandón et al., 2008; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Zamorano & Leyte-Morales, 2005).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Granja-Fernández, R., Herrero-Pérezrul, M. D., López-Pérez, R. A., Hernández, L., Rodríguez-Zaragoza, F. A., Jones, R. W. & Pineda-López, R. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. ZooKeys 406: 101-145. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. Revista de Biología Tropical 56(3): 57-73. Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. Universidad y Ciencia 22(1): 83-88. Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. Ciencia y Mar IX: 19-28.

6.- 2.03- **¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La especie se ha registrado como de amplia distribución alrededor del mundo en regiones tropicales y subtropicales (Chao & Tsai, 1995; Hickman, 1998; Roy & Sponer, 2002). En la actualidad se considera una especie común de las costas de México y como parte de la fauna local (Solís-Marín et al., 1997; Durán-González et al., 2005; Laguarda-Figueras et al., 2005; Solís-Marín et al., 2005; Zamorano & Leyte-Morales, 2005; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Honey-Escandón et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). Marine Biology 124: 77-83; Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83; Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023. Solís-Marín, F. A., Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M. D., Arizpe-Covarrubias, O. & Laguarda-Figueras, A. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. Ciencias Marinas 23(2): 249-263. Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Buitrón-Sánchez, B. E., Ahearn, C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. Revista de Biología Tropical 53: 53-68. Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Durán-González, A., Ahearn, C. G., Buitrón-Sánchez, B. E. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. Revista de Biología Tropical 53: 109-122. Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Ahearn, C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. Revista de Biología Tropical 53: 123-137. Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. Ciencia y Mar IX: 19-28. Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de

referencia de bentos costero de ECOSUR. Universidad y Ciencia 22(1): 83-88. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. Revista de Biología Tropical 56(3): 57-73.

7.-2.04- ¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Se considera que la dispersión potencialmente de esta especie se dio por medio de barcos a través del agua de lastre (Fofonoff et al., 2018). H.L. Clark se aventuró a decir que *Ophiactis savignyi* es el ofiuero más común en el mundo, debido a que se había encontrado en los mares tropicales de todo el mundo. Clark supuso que su distribución es probablemente "artificial", porque los individuos pueden ser transportados en balsas o transportados en el casco de los barcos (Clark, 1919; Hendler et al., 1999). Su especulación con respecto a su modo de dispersión se ve corroborada por los registros de *O. savignyi* en la comunidad de incrustaciones en un muelle flotante que fue remolcado desde Hawai hasta Guam, y en los cascos de las barcasas y remolcadores interinsulares hawaianos (DeFelice, 1999; Paulay et al., 2002; Godwin et al., 2004). Basado en el análisis de una parte de su gen COI (Roy & Sponer, 2002), la especie (*sensu lato*) parece comprender dos linajes y se ha movido entre los océanos Atlántico y Pacífico en el pasado distante. Sin embargo, el tiempo, la dirección y la frecuencia de los eventos de colonización no se pueden determinar con precisión en función de los datos disponibles. Tampoco es posible establecer el vector o la ruta por la cual *O. savignyi* llegó a la Guyana Francesa.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019). Clark, H. L. 1919. The distribution of the littoral echinoderms of the West Indies. Carnegie Institution of Washington Publication 281, 49–74 + pls 1–3. Hendler, G., Baldwin, C. C., Smith, D. G. & Thacker, C. E. 1999. Planktonic dispersal of juvenile brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) on a Caribbean reef. Bulletin of Marine Science 65: 283-288. DeFelice, R. C. 1999. Fouling marine invertebrates on the floating dry dock USS Machinist in Pearl Harbor prior to its move to Apra Harbor, Guam. Final Report to the United States Fish and Wildlife Service, Pacific Islands Ecoregion, Honolulu, Hawai'i. Bishop Museum Hawai'i Biological Survey Contribution 1999-013, 16 pp. Paulay, G., Kirkendale, L., Lambert, G. & Meyer, C. 2002. Anthropogenic biotic interchange in a coral reef ecosystem: a case study from Guam. Pacific Science 56: 403-422. Godwin, L. S., Eldredge, L. G. & Gaut, K. 2004. The assessment of hull fouling as a mechanism for the introduction and dispersal of marine alien species in the main Hawaiian Islands. Bishop Museum Technical Report No. 28, 114 pp. Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023.

8.-2.05- ¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En la actualidad se considera una especie común de las costas de México y como parte de la fauna local (Solís-Marín et al., 1997; Durán-González et al., 2005; Laguarda-Figueras et al., 2005; Solís-Marín et al., 2005; Zamorano & Leyte-Morales, 2005; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Honey-Escandón et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Solís-Marín, F. A., Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M. D., Arizpe-Covarrubias, O. & Laguarda-Figueras, A. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. Ciencias Marinas 23(2): 249-263. Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Buitrón-Sánchez, B. E., Ahearn, C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. Revista de Biología Tropical 53: 53-68. Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Durán-González, A., Ahearn, C. G., Buitrón-Sánchez, B. E. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. Revista de Biología Tropical 53: 109-122. Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Ahearn,

C. G. & Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53: 123-137. Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* IX: 19-28. Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* 22(1): 83-88. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 57-73).

3.-INVASORA EN OTROS SITIOS

9.-3.03- ¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se describió por primera vez en el Mar Rojo en 1842 y luego se descubrió que estaba ampliamente distribuida en los océanos tropical y subtropical de la India, el Pacífico y el Atlántico. Roy y Sponer (2002) encontraron que la mayoría de los especímenes del Atlántico que examinaron, incluidos muchos del Indo-Pacífico y el Atlántico, podrían dividirse en dos linajes, A y B. Especímenes del Atlántico del linaje B (de Florida, Bermudas y la costa caribeña de Panamá) eran idénticas a sus contrapartes del Indo-Pacífico (de Filipinas, Sri Lanka, Rarotonga y Samoa), y muy distintas del linaje A. Consideraron la posibilidad de una invasión natural en África, desde el Océano Índico, concluyó que la dispersión por corrientes no era probable, porque esta especie no sobreviviría a las aguas frías de la corriente de Benguela. El grado de similitud genética en un rango muy amplio apoyó una reciente invasión antropogénica para el linaje B. El linaje A, encontrado desde Bermudas y Florida hasta Brasil, no se encontró en las muestras analizadas del Indo-Pacífico, pero no se pudo excluir su aparición allí (Roy & Sponer, 2002), por lo que debe considerarse criptogénico en el Atlántico. Clark (1919), citado por Roy y Sponer (2002), sugirió que *O. savignyi* se introdujo en el Atlántico antes de mediados del siglo XIX. *O. savignyi* se ha tratado como nativa del Indo-Pacífico, desde Japón hasta el Mar Rojo, Sudáfrica y la Polinesia Francesa. Más al oeste en el Pacífico, donde se considera criptogénica, *O. savignyi* abarca desde California hasta Perú, y también ocurre en Hawai, las Islas Galápagos y la Isla de Pascua. Se recolectó por primera vez en el Pacífico oriental en 1854 en Cabo San Lucas. *Ophiactis savignyi* se recolectó en el Atlántico occidental al menos desde 1875 en Brasil, en 1882 en Bermudas y en 1884 en las costas del este y del golfo de América del Norte. En los cruceros RV 'Albatross' en 1884-1885, se recolectó en el cabo Lookout, Carolina del Norte; y Dry Tortugas, Goodland Point y Sarasota, Florida. Roy y Sponer (2002) encontraron dos linajes en el Atlántico occidental, uno (Lineage A) único en la región y otro (Lineage B) en Florida, Bermudas y la costa caribeña de Panamá que aparentemente representa una introducción críptica del Indo-Pacífico. En la Península de Florida desde Cabo Cañaveral en la Costa Atlántica y Cedar Key en la Costa del Golfo, hacia el sur hasta los Cayos de la Florida para contiene el linaje B introducido y otros sitios del Atlántico con colecciones de *O. savignyi*, para ser criptogénicos.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023

10.-3.02- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se han reportado impactos directos atribuidos a esta especie, pero podrían ser sustanciales, dada la alta abundancia de esta especie en algunos lugares (Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019).

11.-3.03- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuicultura?

RESPUESTA: NO

JUSTIFICACIÓN: No se han reportado impactos de esta especie a la acuicultura (Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019).

12.-3.04- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen reportes o evidencias de impactos por esta especie a los servicios ecosistémicos en la región del Pacífico mexicano ni en otras regiones del mundo (Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019).

13.-3-05- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Esta especie no tiene un impacto negativo en los humanos ni tiene importancia económica para ellos (McGovern, 2002; Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019).

4. RASGOS NO DESEABLES (O PERSISTENCIA)

14.-4.01- ¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen reportes que mencionen que la especie sea venenosa o de riesgo para la salud humana. Además, debido a su tamaño pequeño no resulta ser una especie peligrosa para los seres humanos (McGovern, 2002; Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019).

15.-4.02- ¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Habita en las comunidades de incrustaciones marinas, especialmente esponjas, y se ha encontrado con frecuencia en los cascos de los barcos, las boyas y las estructuras marinas. Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transporte por medio de agua de lastre (Roy & Sporer, 2002). Además de la reproducción sexual, también se reproduce asexualmente por fisión, lo cual es una ventaja para colonizar nuevos lugares donde la posibilidad de fertilización es baja (McGovern, 2003).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sporer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023. McGovern, T. M. 2003. Plastic reproductive strategies in a clonal marine invertebrate. *Proceedings of the Royal Society B*. 270: 2517-2522.

16.-4.03- ¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay información de especies protegidas o amenazadas que sean susceptibles de ser parasitadas por este ofiuro. Aunque no se tiene reportado es posible que puedan desarrollarse sobre corales negros del género *Anthipathes*, algunos de los cuales se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo protección especial (DOF, 2010).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

17.-4.04- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Ophiactis savignyi* es una especie con alta adaptabilidad a diversos ambientes y condiciones climáticas. Es una especie bentónica y reside cerca de la costa, en plataformas continentales y pendientes continentales. Este ofiuro se refugia en diversos hábitats marinos tropicales y subtropicales, incluidos escombros, algas, corales, esponjas, arrecifes, manglares, cascos de barcos y pastos marinos. *Ophiactis savignyi* es más frecuente en las esponjas que en las algas. Esta especie puede habitar esponjas en densidades de hasta 1,892 individuos por cada 100 gramos de esponja seca. También se han reportado 3.000 individuos por litro. La densidad de *O. savignyi* depende del espacio y los alimentos disponibles (Boffi, 1972; Chao & Tsai, 1995; Hendler *et al.*, 1999; McGovern, 2002, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83. Hendler, G., Baldwin, C. C., Smith, D. G. & Thacker, C. E. 1999. Planktonic dispersal of juvenile brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) on a Caribbean reef. *Bulletin of Marine Science* 65: 283-288. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. McGovern, T. M. 2003. Plastic reproductive strategies in a clonal marine invertebrate. *Proceedings of the Royal Society B*. 270: 2517-2522.

18.-4.05- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen registros o evidencias referenciadas por estudios que indiquen que el establecimiento de *O. savignyi* haya causado una alteración en las redes tróficas en regiones donde se ha establecido (Roy & Sponer, 2002; Fofonoff *et al.*, 2018). No hay registros de impactos en los ecosistemas de México (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023; Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019

19.-4.06- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No existen reportes o estudios que sustenten una posible afectación a algún servicio ecosistémico en el área por la presencia de *O. savignyi* (Galván-Villa observaciones personales). Sin embargo, se requieren estudios específicos para determinar posibles impactos o daños a los ecosistemas marinos de México.

CONFIANZA: Media

20.-4.07-¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se han registrado plagas que puedan ser transmitidas por este u otra especie de ofiuro (Galván-Villa Observaciones personales).

CONFIANZA: Media

21.-4.08- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha reportado que el ofiuro *O. savignyi* puede ser parasitado por el copépodo *Thespesiopsyllus* sp. Este copépodo se ha reportado como parásito de otras especies de ofiuros, sin embargo, se desconoce si este parásito puede afectar a especies de otros grupos taxonómicos (Boffi, 1972).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328

22.-4.09- ¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: La especie es de tamaño pequeño (diámetro del disco máximo de 5 mm y longitud de los brazos de 11.5 mm) y no se utiliza como especie de ornato (Hickman, 1998; Hendler & Brugneaux, 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113.

23.-4.10- ¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Los adultos no presentan gran movilidad, por lo general se encuentran adheridos o sujetos a un sustrato fijo como pueden ser esponjas, macroalgas, corales, etc (Hickman, 1998). Sin embargo, sus larvas planctónicas podrían propagarse por medio de las corrientes oceánicas y mediante tanques de lastre de los barcos (Hendler & Brugneaux, 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). Marine Biodiversity Records 6: e113.

24.4.11- ¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: A pesar de que no se ha evaluado, esta especie tiende a formar grandes concentraciones de individuos, por lo que puede competir por recursos con otras especies. Se considera un alimentador de sedimentos y un detritófago, que se refiere a la alimentación en detritos (Boffi, 1972). *Ophiactis savignyi* mantiene la superficie oral de sus discos hacia el sustrato, mientras levanta las puntas de sus brazos para la alimentación selectiva de depósitos (Boffi, 1972). La alimentación de depósitos se realiza mediante los podios (pies de tubo), que recogen las partículas de alimentos del sustrato y las forman en una bola compacta de alimentos, que se transporta a lo largo del brazo por otros podios hacia la boca, donde se digiere. En un estudio, los contenidos estomacales de *O. savignyi* consistían en grandes cantidades de detritus, granos de sílice, briozoos, foraminíferos y pequeños restos de gastrópodos, lo que sugiere que *O. savignyi* se alimenta de estas partículas (Boffi, 1972). Falta de información sobre el método de alimentación de *O. savignyi* que vive dentro de una esponja.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. Marine Biology 15: 316-328.

25.-4.12- ¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie de amplia distribución que se ha establecido a nivel mundial (Roy & Sporer, 2002). Habita regiones tropicales y subtropicales (Hickman, 1998). A través del Indo Pacífico, Pacífico Este y ambos lados del Atlántico. Se ha tratado a *O. savignyi* como una especie nativa del Indo-Pacífico, que se distribuye desde Japón hasta el Mar Rojo, Sudáfrica y la Polinesia Francesa (Matsumoto, 1915). Frente a la costa Este de América, está reportada en Carolina del Sur y Bermudas, a través del Caribe y el Golfo de México (Hendler *et al.*, 1995). Más al oeste en el Pacífico, donde se considera criptogénica (i.e. que no se tiene claro si es nativa o invasora), se extiende desde California hasta Perú, y también ocurre en Hawái, las Islas Galápagos y la Isla de Pascua (Fofonoff *et al.*, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sporer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023. Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83. Matsumoto, H. 1915. A new classification of the Ophiuroidea: with description of new genera and species. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of

Philadelphia 68: 43-92. Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. & Kier, P. M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington, DC. Smithsonian Institution Press. Fofonoff, P. W., Ruiz, G. M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J. T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 18-Feb-2019.

5.- UTILIZACIÓN DE RECURSOS

26.- 5.01.- **¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: La especie es muy pequeña y debido a sus hábitos alimenticios no es posible que se alimente de especies amenazadas o protegidas (Boffi, 1972).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328.

27.- 5.02.- **¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Esta especie puede habitar esponjas en densidades de hasta 1,892 individuos por cada 100 gramos de esponja seca. También se han reportado 3.000 individuos por litro. La densidad de *O. savignyi* depende del espacio y los alimentos disponibles (Boffi, 1972; Chao & Tsai, 1995; Hendler et al., 1995; McGovern, 2002). Por lo tanto, debido a las altas densidades que puede llegar a alcanzar puede ser un competidor de recursos con otras especies.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83. Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. & Kier, P. M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington, DC. Smithsonian Institution Press. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517.

6.- REPRODUCCIÓN

28.- 6.01.- **¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: *Ophiactis savignyi* es una especie dioica y puede reproducirse asexualmente y sexualmente (Mladenov, & Emson, 1988). La reproducción asexual se produce por fisión, que es la división voluntaria del disco central del ofiuro y cada pieza regenera las partes faltantes del disco y los brazos, formando organismos completos (McGovern, 2002). La reproducción sexual de *O. savignyi* se da liberando sus gónadas en la columna de agua (Chao & Tsai, 1995). Las hembras sexualmente maduras tienen gónadas marrones agrandadas (hasta 10,000 huevos), mientras que los machos maduros tienen gónadas blancas agrandadas, que se almacenan en las rendijas de la bolsa (Chao & Tsai, 1995; McGovern, 2002). Las rendijas bursales en ofiuros son únicas y están ubicadas en la base de los brazos, en la superficie oral. Los estudios muestran que los individuos más grandes (tamaño de disco de más de 4 mm), que poseen 5 brazos, se reproducen sexualmente, mientras que los individuos más pequeños (tamaño de disco de menos de 3 mm), que poseen 6 brazos, se someten a fisión. Como resultado de la fisión, una hembra que se rompe en varias partes solo generará hembras, mientras que un macho solo producirá otros machos. En Harrington Sound, Bermudas, las agregaciones clonales de machos predominaron en las esponjas, sin mostrar signos de la presencia de hembras. Quizás el macho sufre fisión con más frecuencia que las hembras, porque las hembras tienen más probabilidades de perder su capacidad

reproductiva sexual después de la división, lo que resulta en una menor densidad de población femenina. Parece que *O. savignyi* se reproduce asexualmente más frecuentemente que sexualmente (Mladenov & Emson, 1988; McGovern, 2002). La reproducción sexual y asexual de *O. savignyi* puede ocurrir simultáneamente porque los individuos recientemente divididos aún pueden contener gónadas maduras (Chao & Tsai, 1995).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Mladenov, P. V. & R. H. Emson. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42:181-194. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. Mladenov, P. V. & R. H. Emson. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42:181-194. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83.

29.- 6.02.- ¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La fisión y la reproducción sexual ocurren con mayor frecuencia durante los meses más cálidos, lo que sugiere que la temperatura juega un papel importante en el tiempo de desove. Individuos con gónadas maduras se encuentran con mayor frecuencia de marzo a diciembre y no se encontraron en enero y febrero. Estos individuos son más comunes en el mes de junio. En junio, pocos individuos recientemente divididos o regenerados presentan gónadas maduras, y la mayoría de las gónadas se encuentran en individuos intactos o completos (Chao & Tsai, 1995). Otros ofiuros que desarrollan fisiparidad se asocian con hábitats perturbados. *Ophiocomella ophiactoides* y *Ophiostigma isacanthum*, co-habitan con *Ophiactis savignyi* en hábitats aislados de arrecifes localizados en Jamaica, los cuales están sujetos a fluctuaciones continuas de temperatura y salinidad (Mladenov & Emson, 1988).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83. Mladenov, P. V. & R. H. Emson. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42:181-194.

30.- 6.03.- ¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Aunque se han reportado casos de hibridación en equinodermos, no se tiene evidencia de que esto ocurra en ofiuros ni en especies del género *Ophiactis* (Tennent, 1913). Aunque es muy posible que pueda darse el caso debido a la presencia de otra especie (*Ophiactis simplex*), la cual morfológicamente es muy similar a *O. savignyi* en tamaño (hasta 2 mm), su número de brazos es de 5 o 6, habita esponjas, algas calcáreas y tubos de poliquetos, también presenta reproducción asexual por regeneración de partes y se distribuye en la misma área dentro del Pacífico Oriental Tropical (desde el sur de California hasta Perú) (Hickman, 1998).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Tennent, D.H. 1913. Echinoderm hybridization. Science 37: 535-537. Hickman, C. P. Jr. 1998. Galapagos Marine Life Series. A field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galapagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia. 1-83.

31.- 6.04.- ¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La especie es polinandra (promiscua), esto es un tipo de comportamiento sexual en el que dos o más machos se relacionan de forma exclusiva con dos o más hembras. Es decir, el grupo de machos comparte sexualmente al grupo de hembras. Puede considerarse como una mezcla entre poliginia y poliandria. *Ophiactis savignyi* se reproduce a través de la división asexual o el desove sexual. La reproducción asexual se produce mediante la división voluntaria del disco central del organismo, produciendo dos mitades, que se regeneran en dos organismos funcionales; esto y la depredación explican el número impar de miembros que se encuentran en algunos individuos. En *O. savignyi*, también se sabe que ocurre la reproducción asexual y sexual simultánea, pero las gónadas maduras generalmente se reabsorben en uno o ambos clones recién divididos, lo que hace que la reproducción sexual simultánea sea improbable (Boffi, 1972; Chao & Tsai, 1995; McGovern, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. Marine Biology 15: 316-328. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). Marine Biology 124: 77-83. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. Evolution 56: 511-517.

32.- 6.05.- ¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Requiere un sustrato que pueden ser escombros, algas, corales, esponjas, arrecifes, áreas de manglares, cascos de barcos y pastos marinos como el pasto de tortuga. *Ophiactis savignyi* es más frecuente en las esponjas que en las algas. Esta especie puede habitar esponjas en densidades de hasta 1,892 individuos por cada 100 gramos de esponja seca (Boffi, 1972; Chao & Tsai, 1995; McGovern, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: offi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. Marine Biology 15: 316-328. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). Marine Biology 124: 77-83. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. Evolution 56: 511-517.

33.- 6.06.- ¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran numero de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Aunque se puede presentar reproducción sexual, la reproducción asexual por fisión parece ser más efectiva para esta especie, lo que le permite a esta especie generar un gran número de descendientes en tiempos cortos (McGovern, 2002; Mladenov & Emson, 1988).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. Evolution 56: 511-517. Mladenov, P. V. & Emson, R. H. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. Marine Ecology Progress Series 42: 181-194.

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: 1

JUSTIFICACIÓN: el tiempo exacto antes de la metamorfosis en un adulto bentónico es desconocido, pero se estima que es un mes (McGovern, 2002, 2003). Cuando *O. savignyi* alcanza un tamaño lo suficientemente grande, al menos un disco de 3.0 mm, comienza a reproducirse sexualmente. Además, puede utilizar la fisión como forma de reproducción (Boffi, 1972; Roy & Sponer, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517. McGovern, T. M. 2003. Plastic reproductive strategies in a clonal marine invertebrate. *Proceedings of the Royal Society B*. 270: 2517-2522. Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023.

7.- MECANISMOS DE DISPERSIÓN

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transporte de agua de lastre (Roy & Sponer, 2002). Puede dispersarse junto a otros organismos sobre los cuales se encuentra, que sean transportados con fines comerciales o acarreados por corrientes marinas (Boffi, 1972; Chao & Tsai, 1995; McGovern, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023. Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83. McGovern, T. M. 2002. Sex-ratio bias and clonal reproduction in the brittle star *Ophiactis savignyi*. *Evolution* 56: 511-517.

36.- 7.02.- ¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Ya se ha registrado en muchas de las áreas marinas protegidas del Pacífico mexicano y Golfo de México (Granja-Fernández et al., 2014; Honey-Escandón et al., 2008; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Zamorano & Leyte-Morales, 2005).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Granja-Fernández, R., Herrero-Pérezrul, M. D., López-Pérez, R. A., Hernández, L., Rodríguez-Zaragoza, F. A., Jones, R. W. & Pineda-López, R. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. *ZooKeys* 406: 101-145. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 57-73. Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* 22(1): 83-88. Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* IX: 19-28.

37.- 7.03.- ¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Habita en las comunidades de organismos marinos incrustantes, especialmente esponjas, y se ha encontrado con frecuencia en los cascos de los barcos, las boyas y las estructuras marinas (Roy & Sponer, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

REPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transporte de agua de lastre (Roy & Sponer, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Tiene una larva planctónica de larga vida, con el potencial de transporte de agua de lastre (Roy & Sponer, 2002).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. Proceedings of the Royal Society of London B. 269: 1017-1023.

40.- 7.06.- ¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Ya se ha registrado en el Pacífico mexicano y Golfo de México, por lo que es muy viable que esta especie migre de un sitio a otro (Granja-Fernández et al., 2014; Honey-Escandón et al., 2008; Trujillo-Luna & González-Vallejo, 2006; Zamorano & Leyte-Morales, 2005).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Granja-Fernández, R., Herrero-Pérezrul, M. D., López-Pérez, R. A., Hernández, L., Rodríguez-Zaragoza, F. A., Jones, R. W. & Pineda-López, R. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. ZooKeys 406: 101–145. Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. Revista de Biología Tropical 56(3): 57-73. Trujillo-Luna, B. R. & González-Vallejo, N. E. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. Universidad y Ciencia 22(1): 83-88. Zamorano, P. & Leyte-Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, México. Ciencia y Mar IX: 19-28.

41.- 7.07.- ¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No hay registros de que algún otro organismo haya dispersado a *Ophiactis savignyi*. Sin embargo, puede ser viable que se disperse mediante materiales flotantes que se encuentren a la deriva. Solo se ha considerado que su reproducción sexual y asexual son los mecanismos de repoblamiento que utiliza esta especie. La madurez sexual de *O. savignyi* parece depender del tamaño. *Ophiactis savignyi* muestra una diferencia en la proporción de sexos que resulta en una mayor proporción de machos que hembras. Esta diferencia puede deberse a una mayor inversión en masa gonadal por parte de las hembras. Es más probable que los machos conserven su capacidad para reproducirse después de dividirse que las hembras, lo que puede ser la causa de la proporción de sexos sesgada. El desove sexual puede resultar en la colonización a larga distancia de esponjas y algas por estrellas frágiles y también podría explicar la inusual proporción de sexos; un solo organismo puede generar una colonia entera (Chao & Tsai, 1995).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Chao, S. M. & Tsai, C. C. 1995. Reproduction and population dynamics of the fissiparous brittle star *Ophiactis savignyi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biology* 124: 77-83.

42.- 7.08.- ¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: No se tiene información

CONFIANZA: Alta

43.- 7.09.- ¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Los mecanismos de dispersión tienen que ver más con la amplia variedad de sustratos que pueden ocupar y los sistemas de corrientes marinas que dispersan sus larvas (Mladenov & Emson, 1988; Roy & Sponer, 2002; Hendler & Brugneaux, 2013).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Mladenov, P. V. & Emson, R. H. 1988. Density, size structure and reproductive characteristics of fissiparous brittle stars in algae and sponges: evidence for interpopulational variation in levels of sexual and asexual reproduction. *Marine Ecology Progress Series* 42: 181-194. Roy, M. S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 1017-1023. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113.

8.- ATRIBUTOS DE TOLERANCIA

44.- 8.01.- ¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es un organismo totalmente acuático (Hendler et al., 1995).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. & Kier, P. M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington, DC. Smithsonian Institution Press.

45.- 8.02.- ¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie polihalina (18 a 30 psu) y eurihalina (30 a 40 psu), que habita zonas tropicales, subtropicales y templadas (Fofonoff et al., 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Fofonoff, P.W., Ruiz, G.M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J.T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 19-Dic-2018.

46.- 8.03.- ¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Difícilmente debido a que es una especie altamente abundante en todo el mundo y en ningún lugar se han implementado estrategias de control o erradicación. Aunque se conocen algunos depredadores como cangrejos decápodos, camarones y peces (Boffi, 1972), sus densidades son tan grandes que es difícil que estos consuman toda la población.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328.

47.- 8.04.- ¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Si, ya que puede desarrollarse en una gran variedad de habitats y condiciones ambientales (Roy & Sponer, 2002; Hendler et al., 2012; Hendler & Brugneaux, 2013).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Roy, M.S. & Sponer, R. 2002. Evidence of a human-mediated invasion of the tropical western Atlantic by the 'world's most common brittlestar. *Proceedings of the Royal Society of London B* 269: 1017-1023. Hendler G., Migotto A.E., Ventura C.R.R. & Wilk L. 2012. Epizoic Ophiothela brittle stars have invaded the Atlantic. *Coral Reefs* 31: 1005. Hendler G. & Brugneaux, S.J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113.

48.- 8.05.- ¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie polihalina (18 a 30 psu) y eurihalina (30 a 40 psu), que habita zonas tropicales, subtropicales y templadas (Fofonoff et al., 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Fofonoff, P.W., Ruiz, G.M., Steves, B., Simkanin, C. & Carlton, J.T. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Consultado el 19-Dic-2018.

49.- 8.06.- ¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se menciona que algunos depredadores potenciales de esta especie pueden ser cangrejos, camarones y peces (Boffi, 1972), sin embargo, no se ha precisado cuales especies lo depredan.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: No existe información precisa sobre los efectos del cambio climático y las poblaciones de *Ophiactis savignyi*. Sin embargo, en general los equinodermos son altamente susceptibles a la acidificación de los océanos porque carecen de una barrera impermeable entre el agua de mar exterior y su cavidad interna y también utilizan mecanismos de transporte activo, lo que significa que tienen pocos mecanismos para amortiguar los cambios en el equilibrio ácido-base de sus fluidos. Por un lado, el aumento de la temperatura de los océanos puede favorecer la dispersión de *O. savignyi*, pero la reducción del pH por acidificación puede tener un efecto negativo en el desarrollo de sus larvas (Boffi, 1972; Hendler & Brugneaux, 2013; Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113. Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. *ICES Journal of Marine Science* 73(3): 951-961.

51.- 9.02.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Puede ser favorecida por los cambios en las condiciones ambientales ya que es una especie muy tolerante (Boffi, 1972; Hendler & Brugneaux, 2013; Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113. Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. *ICES Journal of Marine Science* 73(3): 951-961.

52.- 9.02.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: Debido a su amplia tolerancia y sus capacidades reproductivas, esta especie puede verse favorecida incrementando su dispersión (Boffi, 1972; Hendler & Brugneaux, 2013; Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015).

CONFIANZA: Muy Alta

REFERENCIA: Boffi, E. 1972. Ecological aspects of ophiuroids from the phytal of S. W. Atlantic Ocean warm waters. *Marine Biology* 15: 316-328. Hendler, G. & Brugneaux, S. J. 2013. New records of brittle stars from French Guiana: *Ophiactis savignyi* and the alien species *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Biodiversity Records* 6: e113. Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. *ICES Journal of Marine Science* 73(3): 951-961.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: Es difícil determinarlo, sin embargo, se puede pensar que esta especie no representaría un peligro mayor a la biodiversidad a pesar de que pueda incrementarse su abundancia y distribución (Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015). Aparentemente esta especie se adapta fácilmente a distintas condiciones ambientales y se integra dentro de la estructura ecológica de los habitats donde se encuentra. Sin embargo, se debe tomar con mucha cautela estas suposiciones ya que no se dispone de información suficiente para llegar a conclusiones fiables.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. *ICES Journal of Marine Science* 73(3): 951-961.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: Posiblemente los cambios futuros en el tamaño de las poblaciones de *Ophiactis savignyi* no sean causa de impactos mayores que otros factores u otras especies. Debido a que no se cuenta con información precisa o por la falta de información de muchos aspectos ecológicos de esta especie es difícil determinar con precisión si en el futuro esta especie puede alterar la función de los ecosistemas marinos de México. Es mucho más probable que otros factores causen estos disturbios a los ecosistemas (Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015).

CONFIANZA: Media

REFERENCIAS: Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. *ICES Journal of Marine Science* 73(3): 951-961.

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Sin cambios

JUSTIFICACIÓN: Es poco probable que los servicios ecosistémicos o factores socioeconómicos se vean afectados por cambios en la presencia de *Ophiactis savignyi* (Caldeira & Wickett, 2003; Chan et al., 2015). Para precisar con mayor detalle esto se requiere más investigación.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIAS: Caldeira, K. & Wickett, M.E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365. Chan, K.Y.K., Grünbaum, D., Arnberg, M. & Dupont, S. 2015. Impacts of ocean acidification on survival, growth, and

swimming behaviours differ between larval urchins and brittlestars. ICES Journal of Marine Science 73(3): 951-961.

Anexo 6. Informe de resultados del AR con AS-ISK de *Carijoa riisei*.

[AS-ISK v2 InformeCarijoa riisei.xlsx](#)

Nombre del taxón: *Carijoa riisei*

A.- BIOGEOGRÁFICO / HISTÓRICO

1.- 1.01.- ¿Se ha sometido el taxón a un proceso de domesticación (o cultivo) por, al menos, 20 generaciones?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Aunque no se cultiva de forma comercial, se esta cultivando con fines experimentales y científicos para obtener conocimientos sobre su biología y lograr su control en ambientes naturales. Una técnica de cultivo basada en laboratorio representaría un avance significativo en la capacidad para investigar cuestiones relacionadas con la propagación y el control de *Carijoa riisei*. Durante una investigación se instalaron acuarios para alojar colonias de *C. riisei* cautivas durante un período de siete semanas (Skillings, 2006).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Skillings, D. 2006. Laboratory culture of the soft-coral *Carijoa riisei*, Minnesota Statue University, Mankato.

2.- 1.02.- ¿Se cosecha/captura el taxón en estado silvestre y tiene probabilidades de ser vendido o utilizado vivo?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Gasparini et al. (2004) informa que *Carijoa riisei* se usa en el comercio de acuarios y también se puede encontrar en el comercio de souvenirs.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Gasparini, J.L., Floeter, S.R., Ferreira, C.E.L and Sazima, I. 2004. Marine Ornamental Trade in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 14(12):2883-2899.

3.- 1.03.- ¿Tiene el taxón razas, variedades, sub-taxa o congéneres invasores?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Existen otras dos especies del género *Carijoa*: *C. multiflora*, la cual se distribuye en el Indo-Pacífico tropical y *C. operculata*, distribuida en el Atlántico desde Canada hasta el Golfo de México, pero ninguna de estas ha sido reportada como invasora. Se reporta una cuarta especie *C. rupicola*, pero al parecer es un sinonimo de *C. riisei* (Fofonoff et al., 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Fofonoff PW, Ruiz GM, Steves B, Simkanin C, & Carlton JT. 2018. National Exotic Marine and Estuarine Species Information System. <http://invasions.si.edu/nemesis/>. Access Date: 26-Oct -2018

2.- Clima, distribución y riesgo de introducción

4.- 2.01.- ¿Qué tan similares son las condiciones climáticas entre el área de Análisis de Riesgo (AR) y el área de distribución nativa del taxón?

RESPUESTA: Medio

JUSTIFICACIÓN: Mediante la herramienta Climatch se encontró una similitud media en las condiciones climáticas entre la región del Atlántico oeste (donde es nativa la especie *Carijoa riisei*) y el Pacífico de México (donde se ha reportado como invasora) (<https://climatch.cp1.agriculture.gov.au/climatch.jsp>).

CONFIANZA: Alta

5.- 2.02.- **¿Cuál es la calidad de los datos usados para la comparación climática?**

RESPUESTA: Alto

JUSTIFICACIÓN: Programa Climatch (<http://data.daff.gov.au:8080/Climatch/climatch.jsp>).

CONFIANZA: Alta

6.- 2.03.- **¿Se encuentra ya el taxón fuera de cautiverio en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En 2018 se reportó la presencia de esta especie en la bahía de Manzanillo, Colima (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Galván-Villa, C.M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *Bioinvasions Records* 7(1): 1-6).

7.- 2.04.- **¿Cuántos vectores potenciales pudo usar el taxón para entrar al área AR?**

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: Su introducción es no intencional, muy probablemente como fauna asociada a los cascos de los barcos o incrustado en estructuras flotantes (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018). Se ha introducido en aguas hawaianas, quizás a través de la fauna adherida en los cascos de los barcos. Requiere superficies firmes a las que se adhiere utilizando estolones, estructuras similares a raíces, por lo que podría viajar adherido a estructuras que flotan por el océano (Grigg, 2003, 2004; Kahng, 2006).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Galván-Villa, C.M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *Bioinvasions Records* 7(1): 1-6). Grigg, R.W. 2003. Invasion of a Deep Black Coral bed by an Alien Species, *Carijoa riisei*, off Maui, Hawaii, *Coral Reefs* 22: 121-122. Grigg, R. W. 2004. Harvesting impacts and invasion by an alien species decrease estimates of black coral yield off Maui, Hawaii. *Pacific Science* 58(1): 1-6. Kahng, S. 2006. The Ecology and Ecological Impact of a Highly Invasive Marine Invertebrate on Hawaiians Coral Reef Community. University of Hawaii: Hawaii.

8.- 2.05.- **¿Se encuentra el taxón actualmente próximo a, y con probabilidades de, entrar en el corto plazo al área AR (ej. introducciones accidentales o intencionales)?**

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: Ya se ha reportado como especie invasora en la Bahía de Manzanillo, Colima (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Galván-Villa, C.M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *Bioinvasions Records* 7(1): 1-6).

3.- Invasora en otros sitios

9.- 3.01.- ¿Se ha naturalizado el taxón (ha establecido poblaciones viables) fuera de su rango de distribución original?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha establecido en las islas de Hawái, en el Pacífico Colombiano, Indonesia e India (Wagner et al., 2009; Sánchez & Ballesteros, 2014; Calcinaí et al., 2004; Kahng et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Wagner, D., Kahng, S.E. & Toonenc, R.J. 2009. Observations on the life history and feeding ecology of a specialized nudibranch predator (*Phyllodesmium poindimiei*), with implications for biocontrol of an invasive octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 472: 64-74; Sánchez J.A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(suppl.1): 199-207; Calcinaí B., Bavestrello, G. & Cerrano, C. 2004. Dispersal and association of two alien species in the Indonesian coral reefs: the octocoral *Carijoa riisei* and the demosponge *Desmapsamma anchorata*, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(5): 937-941; Kahng, S.E., Benayahu, Y., Wagner, D. & Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii, *University of Miami - Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science*, 82(1): 1-17.

10.- 3.02.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a poblaciones silvestres o taxones de importancia comercial?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* puede establecerse y crecer sobre otros organismos estacionarios como moluscos y corales. Cuando las condiciones son favorables, es capaz de un crecimiento explosivo, por lo tanto, puede sofocar a los competidores y ocupar cualquier espacio disponible. Además, es un comedero voraz y puede consumir grandes cantidades de zooplancton (los impactos ecológicos de este hábito de alimentación aún no se han estudiado) (Kahng & Grigg, 2005). En Colombia se ha observado mortalidad en toda la comunidad de octocorales (incluyendo la extinción local de algunas especies del género *Muricea*) y una constante competencia y cubrimiento de abanicos de mar de los géneros *Pacifigorgia* y *Leptogorgia* (Sánchez & Ballesteros, 2014).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, S.E. & Grigg, R.W. 2005. Impact of an alien octocoral, *Carijoa riisei*, on black corals in Hawaii, *Coral Reefs* 24: 556-562. Sánchez, J.A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia, *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl. 1): 199-207.

11.- 3.03.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a la acuicultura?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay reportes que indiquen daños a cultivos acuáticos.

CONFIANZA: Alta

12.- 3.04.- ¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos a los servicios ecosistémicos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Cuando las condiciones son favorables, es capaz de un crecimiento explosivo, por lo tanto, puede sofocar a los competidores y ocupar cualquier espacio disponible, esto puede provocar la pérdida de hábitat para muchas especies locales (Kahng & Grigg, 2005). *C. riisei* es un comedero voraz y puede consumir grandes cantidades de zooplancton, disminuyendo la disponibilidad de este recurso para otras especies (los impactos ecológicos de este hábito de alimentación aún no se han estudiado).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, S.E. & Grigg, R.W. 2005. Impact of an alien octocoral, *Carijoa riisei*, on black corals in Hawaii, *Coral Reefs* 24: 556-562.

13.- 3.05.- **¿En las áreas donde ha sido introducido el taxón se han documentado impactos negativos socioeconómicos?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: A causado afectaciones a poblaciones de coral negro en Hawái, donde más del 50% de los corales negros que se encuentran entre 70 y 110 m están cubiertos por *C. riisei* (Grigg, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Grigg, R.W. 2003. Invasion of a deep black coral bed by an alien species, *Carijoa riisei*. *Coral Reef*, 22: 121-122.

B.- BIOLOGÍA / ECOLOGÍA

4.- Rasgos no deseables (o persistencia)

14.- 4.01.- **¿Puede el taxón ser venenoso o representar un riesgo de algún tipo para la salud humana?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tienen riesgos a la salud humana. Aunque esta especie está en estrecha simbiosis con la esponja *Desmapsamma anchorata* que porta un potente compuesto citotóxico, no se tiene ningún reporte de alguna afectación a humanos (Calcinai et al., 2004). Además, mediante ensayos de alimentación realizados en Hawái, *C. riisei* no parece tener nematocistos efectivos (Kahng & Grigg, 2005).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Calcinai, B., G. Bavestrello & C. Cerrano. 2004. Dispersal and association of two alien species in the Indonesian coral reefs: the octocoral *Carijoa riisei* and the demosponge *Desmapsamma anchorata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84: 937-941. Kahng, S.E. & R.W. Grigg. 2005. Impact of an alien octocoral, *Carijoa riisei*, on black corals in Hawaii. *Coral Reefs*, 24: 556-562.

15.- 4.02.- **¿Puede el taxón afectar a uno o más taxa nativos (que no estén amenazados o protegidos)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se ha reportado en Hawái un serio descenso en la cobertura de corales negros del género *Antipathes* en arrecifes poco profundos (menos de 75 m o 246 pies). *Carijoa riisei* crece rápidamente y mata a los corales negros nativos *Antipathes dichotoma* y *A. grandis*. Se trata de corales pétreos de crecimiento lento, que se utilizan para la fabricación de joyas y son objeto de una pesquería dirigida. El equilibrio ecológico se altera, ya que los corales negros son sofocados por el octocoral de crecimiento más rápido y no alcanzan la edad reproductiva (doce años) (Kahng & Grigg, 2005). En Colombia, se ha observado mortalidad en toda la comunidad de octocorales (incluyendo la extinción local de algunas especies de *Muricea*) y una constante competencia y cubrimiento de abanicos de mar de los géneros *Pacificorgia* y *Leptogorgia* (Sánchez & Ballesteros, 2014).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Kahng, S.E. & Grigg, R.W. 2005. Impact of an alien octocoral, *Carijoa riisei*, on black corals in Hawaii. *Coral Reefs* 22(4): 556-562. Sánchez, J.A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl. 1): 199-207.

16.- 4.03.- **¿Existen taxones amenazados o protegidos que el taxón no nativo pudiera parasitar dentro del área AR?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay reportes de especies amenazadas o protegidas en el Pacífico mexicano que pudieran ser afectadas por la introducción de *Carijoa riisei* (NOM-059-SEMARNAT-2010) (DOF, 2010).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

17.- 4.04.- ¿Es el taxón adaptable, en términos de condiciones climáticas u otras ambientales, de manera que se incremente su persistencia potencial si ya invadió, o pudiera invadir, el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es una especie que crece en superficies duras lejos de la luz solar directa. Estos incluyen cuevas, aleros, salientes y debajo de los muelles. Es un organismo incrustante que crece sobre superficies de metal, madera, concreto, plástico y cuerdas. Prospera en aguas turbias con corrientes moderadas a fuertes o acción de las olas (Kahng, Sin fecha). Las altas temperaturas del agua de mar y la disponibilidad constante de alimentos en el área de estudio parecen facilitar la producción de un gran número de gónadas a lo largo del año en este octocoral (Barbosa et al., 2014).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Kahng, S.E. Sin fecha. *Carijoa riisei*: Fact Sheet Department of Oceanography, University of Hawaii. Barbosa, T.M., Gomes, P.B., Bergeron, A.S., Santos, A.M., Chagas, C., Freitas, E.M.S., Perez, C.D. 2014. Comparisons of sexual reproduction in *Carijoa riisei* (Cnidaria, Alcyonacea) in South Atlantic, Caribbean, and Pacific areas. *Hydrobiologia* 734: 201-212.

18.- 4.05.- ¿Puede el taxón alterar la estructura/función de las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos, que ya ha invadido o que pudiera invadir en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En Colombia se ha reportado mediante mediciones cualitativas, que *C. riisei* representa una amenaza para la fauna octocoral nativa en los arrecifes rocosos oceánicos y costeros del Pacífico Oriental Tropical. Se han observado mortalidades octocorales en toda la comunidad y una ocurrencia duradera de *C. riisei* compitiendo y sobrepasando los abanicos marinos del género *Pacifigorgia* y los látigos marinos del género *Leptogorgia*, en múltiples sitios del Pacífico Colombiano entre 2009 y 2013 (Sánchez & Ballesteros, 2014). Debido a la similitud con los sistemas arrecifales de Colombia es muy posible que se presenten afectaciones similares en la región del Pacífico mexicano.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Sánchez. J.A., Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl. 1): 199-207

19.- 4.06.- ¿Puede el taxón ocasionar impactos negativos a los servicios ecosistémicos en el área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: La expansión de este octocoral puede afectar la estructura de las comunidades nativas de la bahía de Manzanillo, provocando una disminución de recursos para otras especies y a su vez esto podría afectar actividades como pesca (desplazamiento de especies) y turismo (cambio en la belleza escénica de la localidad por competencia con especies nativas) (Grigg, 2003; Sánchez & Ballesteros, 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Grigg, R.W., 2003. Invasion of a deep water coral bed by an alien species, *Carijoa riisei*. *Coral Reefs* 22: 121–122. Sánchez. J.A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl. 1): 199-207. Galván-Villa, C.M. &

Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *Bioinvasions Records* 7(1): 1-6.

20.- 4.07.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que sean endémicos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tienen reportes de que la especie actúe como vector de enfermedades o plagas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

21.- 4.08.- ¿Puede el taxón ser hospedero y/o actuar como vector para plagas reconocidas y agentes infecciosos que estén ausentes (sean nuevos) en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No se tienen reportes de que la especie actúe como vector de enfermedades o plagas (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

22.-4.09.- ¿Puede el taxón alcanzar un tamaño corporal que incremente las posibilidades de liberarlo de cautiverio?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede llegar a formar colonias densas y tupidas de tallos y ramas enmarañados, flexibles y huecos, con un pólipo prominente en la punta de cada uno, debido a su coloración llamativa se llegó a utilizar en el comercio como especie de ornato en Brasil, pero en la actualidad esta prohibida su comercialización en ese país (Gasparini et al., 2004; Moreira-de Gurjao & Monteiro- da Cruz Lotufo, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Gasparini, J. L., Floeter, S. R., Ferreira, C. E. L & Sazima, I. 2004. Marine Ornamental Trade in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 14: 2883-2899. Moreira-de Gurjao, L & Monteiro- da Cruz Lotufo, T. 2018. Native species exploited by marine aquarium trade in Brazil. *Biota Neotropical* 18(3): 1-19.

23.- 4.10.- ¿Es el taxón capaz de mantenerse en diversas condiciones de velocidad de corrientes de agua (p. ej. es versátil en el uso de hábitat)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* se observa comúnmente en sustratos duros en hábitats sombreados con flujo de corriente moderado, además su dispersión se ha registrado principalmente como fauna adherida a los cascos de los barcos (Kahng & Grigg, 2005).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, S.E. & Grigg, R.W. 2005. Impact of an alien octocoral (*Carijoa riisei*) on black corals in Hawaii. *Coral Reefs* 24(4):556-562.

24.- 4.11.- ¿Puede el modo de vida del taxón (p. ej. excreción de subproductos) o comportamientos (p. ej. alimentación) reducir la calidad del hábitat para taxones nativos?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* había sido descrita como una especie de aguas poco profundas, pero las prospecciones de aguas profundas realizadas cerca de Maui en Hawai descubrieron esta especie cubriendo más del 70% de las colonias de coral negro (*Antipathes dichotoma* y *A. grandis*) en ciertas áreas a profundidades de 65-115 m (Grigg, 2003). *C. riisei* puede asentarse y crecer en otros organismos estacionarios como los moluscos (Mollusca) y corales (Cnidaria). Cuando las condiciones son favorables, es capaz de un

crecimiento explosivo, por lo tanto, puede sofocar a los competidores y ocupar cualquier espacio disponible (Toonen, 2004).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Grigg, R.W. 2003. Invasion of a deep water coral bed by an alien species, *Carijoa riisei*. *Coral Reefs* 22: 121-122. Toonen, R. 2004. Reproduction and developmental characteristics of an alien soft coral (*Carijoa riisei*) in Hawai'i (FY 2004-2005). Hawai'i Institute of Marine Biology.

25.- 4.12.- ¿Puede el taxón mantener una población viable incluso cuando esté presente a bajas densidades (o persistir en condiciones adversas en alguna forma latente)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* se ha reportado en el Pacífico Colombiano (Islas Malpelo, Gorgona, Chocó Norte y Cabo Corrientes), donde se ha observado un crecimiento amplio de las colonias (Invemar 2016; Sánchez & Ballesteros, 2014).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Invemar. 2016. Evaluación de la dinámica de crecimiento del octocoral invasor *Carijoa riisei* en el Chocó Norte, Pacífico Colombiano. Informe técnico final. Santa Marta, Colombia. Sánchez, J. A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62: 199-207.

5.- Utilización de recursos

26.- 5.01.- ¿Puede el taxón consumir taxones nativos amenazados o protegidos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* es un organismo filtrador que puede consumir grandes cantidades de zooplancton (los impactos ecológicos de este hábito de alimentación aún no se han estudiado), lo que no genera riesgo para alguna especie protegida o amenazada (Kahng et al., 2008; Gomes et al., 2012).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Kahng, S.E., Benayahu, Y., Wagner, D., Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii. *Bulletin of Marine Science* 82(1): 1-17; Gomes, P.B., Lira, A.K.F., Naud, J., Santos, A.M., Pérez, C.D. 2012. Prey selectivity of the octocoral *Carijoa riisei* at Pernambuco, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 84(1): 157-164).

27.- 5.02.- ¿Puede el taxón retener recursos alimenticios (incluyendo nutrientes) en detrimento de taxones nativos en el área AR?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es un organismo filtrador que se alimenta de zooplancton, el cual es muy abundante a lo largo del Pacífico mexicano, por lo que no representa ningún riesgo de reducción de nutrientes disponibles para otras especies (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

6.- Reproducción

28.- 6.01.- ¿Puede el taxón exhibir cuidado parental y/o reducir la edad de madurez sexual en respuesta a las condiciones ambientales?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* es capaz de reproducirse por un solo progenitor y tiene colonias masculinas, femeninas y hermafroditas. También se propaga por el crecimiento vegetativo a través de corredores y estolones que se propagan y colonizan las áreas adyacentes en todas las direcciones. Al ser un organismo que libera gametos al agua no se presenta cuidado parental (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>

29.- 6.02.- ¿Puede el taxón producir gametos viables o propágulos (en el área AR)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* exhibe una alta fecundidad, produciendo casi continuamente, y cientos de huevos por pólipo axial (Kahng et al., 2008). Los pólipos pueden reproducirse asexualmente simplemente dividiéndose en dos, o sexualmente por liberación y fertilización de gametos (una célula relacionada con la reproducción sexual, que es un esperma masculino o un óvulo femenino) en la columna de agua. Las larvas de la planula resultantes (larvas planas ciliadas de natación libre) se asientan en el fondo y se desarrollan directamente en pólipos jóvenes (Colin & Arneson, 1995; Thomas, 1979).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Kahng, S. E., Benayahu, Y., Wagner, D. & Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii. *Bulletin of Marine Science* 82: 1-17. Colin, P.L. & Arneson, L. 1995. *Tropical Marine Invertebrates*. Coral Reef Press, Beverly Hills. 296 pp. Thomas, W.J. 1979. Aspects of the micro-community associated with *Telesto riisei*, an introduced alcyonarian species. MS Thesis, Zoology Dept., University of Hawaii.

30.- 6.03.- ¿Puede el taxón hibridar con taxones nativos de forma natural?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: No hay registros de que se haya presentado hibridación con otras especies. En la región del Pacífico mexicano no se encuentran otras especies del mismo género (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

31.- 6.04.- ¿Puede el taxón ser hermafrodita o reproducirse asexualmente?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* es capaz de reproducirse por un solo progenitor y tiene colonias masculinas, femeninas y hermafroditas. También se propaga por el crecimiento vegetativo a través de corredores y estolones que se propagan y colonizan las áreas adyacentes en todas las direcciones (ISSG, 2011). Los pólipos pueden reproducirse asexualmente simplemente dividiéndose en dos, o sexualmente mediante la liberación y fertilización de gametos en la columna de agua. Las larvas de la planula resultantes se asientan en el fondo y se desarrollan directamente en pólipos jóvenes (Thomas, 1979). Las colonias hermafroditas comprendían el 1.3% de los especímenes examinados en Hawái. Los hermafroditas pueden representar colonias en el proceso de cambio de sexo (Kahng et al., 2008). La aparición regular de colonias hermafroditas y gonocóricas se ha informado anteriormente (McFadden, 1999; Schleyer et al., 2004), pero esto puede deberse a la presencia de especies crípticas (McFadden et al., 2006; Kahng et al., 2011).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: ISSG, 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>. Thomas, W.J. 1979. Aspects of the micro-community associated with *Telesto riisei*, an introduced alcyonarian species. MS Thesis, Zoology Dept., University of Hawaii. Kahng, S. E., Benayahu, Y., Wagner, D. & Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii, *Bulletin of Marine Science* 82: 1-17. McFadden, C. S. 1999. Genetic and taxonomic relationships among northeastern Atlantic and Mediterranean populations of the soft coral

Alcyonium coralloides. Marine Biology 133: 171–184. Schleyer, M. H., A. Kruger & Y. Benayahu. 2004. Reproduction and the unusual condition of hermaphroditism in Sarcophyton glaucum (Octocorallia, Alyoniidae) in KwaZuluNatal, South Africa. Hydrobiologia 530(531): 399-409. McFadden, C. S., P. Alderslade, L. P. van Ofwegen, H. Johnsen & A. Rusmevichientong, 2006. Phylogenetic relationships within the tropical soft coral genera Sarcophyton and Lobophytum (Anthozoa, Octocorallia). Invertebrate Biology 125: 288–305. Kahng, S. E., Y. Benayahu & H. R. Lasker, 2011. Sexual reproduction in octocorals. Marine Ecology and Progress Series 443: 265–283.

32.- 6.05.- ¿Depende el taxón de la presencia de otro taxón (o de características específicas del hábitat) para completar su ciclo de vida?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Se reporta que *Carijoa riisei* crece bien en aguas turbias ricas en materia orgánica y zooplancton en las que se alimenta. Requiere una superficie firme en la que se adhiere utilizando estolones (estructuras similares a raíces). También crece bien en superficies duras artificiales como metal, plástico, concreto, etc. Se reporta comúnmente en arrecifes artificiales visitados por buceadores recreativos. Es un alimentador de filtro pasivo y necesita cantidades moderadas de flujo de agua, que es provisto por oleadas de olas y corrientes de marea o mareas largas. No prolifera bajo la luz solar directa y generalmente es más abundante en superficies rocosas u otros sustratos duros a profundidades por debajo de la penetración de luz significativa. Grigg (2003) afirma que no solo se puede encontrar esta especie en pilotes de embarcaciones en aguas poco profundas, sino que también es abundante en aguas mucho más profundas (hasta 120 m), especialmente en ambientes sombreados (Kahng, Sin fecha; Grigg, 2003).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, Sin fecha. *Carijoa riisei*: Fact Sheet Department of Oceanography, University of Hawaii. Grigg, R. W. 2003. Invasion of a deep black coral bed by an alien species, *Carijoa riisei*, off Maui, Hawaii. Coral Reefs 22: 121-122.

33.- 6.06.- ¿Se sabe (o es probable) que el taxón produzca un gran numero de propágulos o descendientes en un tiempo corto (p. ej. <1 año)?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* exhibe una alta fecundidad en comparación con otros corales, produciendo casi continuamente y cientos de huevos por pólipos axial (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

34.- 6.07.- ¿Cuántas unidades de tiempo (días, meses, años) requiere el taxón para alcanzar la edad de la primera reproducción? [En el campo de Justificación, indicar la unidad de tiempo concreta utilizada.]

RESPUESTA: 1

JUSTIFICACIÓN: *Carijoa riisei* parece tener una edad temprana de madurez sexual en comparación con otros octocorales alcionáceos que generalmente tardan más de 2 años en madurar y un crecimiento rápido en comparación a otras especies de coral (Kahng et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, S.E., Y. Benayahu., D. Wagner y N. Rothe. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii. Bulletin of Marine Science, 82: 1-17.

7.- Mecanismos de dispersión

35.- 7.01.- ¿Cuántos vectores/vías internas potenciales podría utilizar el taxón para dispersarse dentro del área AR (con hábitats adecuados en la cercanía)?

RESPUESTA: >1

JUSTIFICACIÓN: (1) Corrientes marinas.- Por la liberación de larvas las cuales pueden viajar pasivamente en el agua (larva aplanada de nado libre) (ISSG, 2011). (2) Embarcaciones (fouling).- Se ha reportado que es más probable que se introduzca *Carijoa riisei* como incrustación en los cascos de los buques o barcos, debido a la intensa actividad portuaria en Manzanillo, es un punto rojo que puede favorecer considerablemente la expansión de la especie (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018). (3) Adherido a otros organismos.- Puede ser dispersada por otros organismos que presentan mayor movilidad como crustáceos. Se ha reportado como epibionte del cangrejo arquitecto *Microphrys interruptus* (Bruto-Costa et al., 2014) y del cangrejo *Pelidnota tumida* (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: ISSG, 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6. Bruto-Costa LV, Bezerra LE, Pérez CD (2014) The octocoral *Carijoa riisei* (Cnidaria, Anthozoa) as a macro-epibiont of the crab *Microphrys interruptus* (Crustacea, Brachyura, Majidae) in northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 9(2): 141–144.

36.- 7.02.- **¿Alguno de estos vectores/vías podría llevar al taxón a la proximidad cercana de una o más áreas protegidas (p. ej. ZCM, APM, SICE)?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede llegar a la zona de Carrizales, la cual se encuentra a solo 14 km de distancia del puerto de Manzanillo donde se registro por primera ocasión. El arrecife de Carrizales es un arrecife coralino en buen estado de conservación, pero puede verse seriamente afectado por la invasión de *C. riisei* al competir por espacio con otras especies de coral (Chávez-Comparan et al., 2008; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Chávez-Comparan, J.C., Galeana-Lemus, G.G., Manzo-Vargas, I., Salinas-Sánchez, J.A. 2008. Catalogo de peces de arrecifes rocosos-coralinos de Punta Carrizales, Colima, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 36 pp. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

37.- 7.03.- **¿Tiene el taxón la capacidad de adherirse activamente a algún sustrato duro (p. ej. casco de embarcaciones, boyas, pilotes) de modo que se incremente su probabilidad de dispersión?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Requiere una superficie firme en la que se adhiere utilizando estolones (estructuras similares a raíces). Se puede encontrar en hábitats como arrecifes costeros rocosos, arrecifes de coral, cuevas, grietas, raíces de manglares, muelles, embarcaderos, plataformas petrolíferas marinas y cascos de barcos. También crece bien en superficies duras artificiales como metal, plástico, concreto, etc. (Carlton & Eldredge, 2009; Lira et al., 2009; Friedlander et al., 2014; Barbosa et al., 2014; Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Carlton, J.T. & Eldredge, L. 2009. Marine bioinvasions of Hawaii: The introduced and cryptogenic marine and estuarine animals and plants of the Hawaiian archipelago., *Bishop Museum Bulletin in Cultural and Environmental Studies* 4: 1-202. Lira, A. K. F., Naud, J. P. Gomes, P. B., Santos, A. M., Perez, C. D. 2009. Trophic ecology of the octocoral *Carijoa riisei* from littoral of Pernambuco, Brazil. I. Composition and spatio-temporal variation of the diet, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89: 89-99. Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Fay, M., Sala, E. 2014. Marine communities on oil platforms in Gabon, West Africa: high biodiversity oases in a low biodiversity environment, *PLOS ONE* 9: e103709. Barbosa, T.M., Gomes,

P.B., Bergeron, A.S., Santos, A.M., Chagas, C., Freitas, E.M.S. & Perez, C.D. 2014. Comparisons of sexual reproduction in *Carijoa riisei* (Cnidaria, Alcyonacea) in South Atlantic, Caribbean, and Pacific areas, *Hydrobiologia* 734: 201-212. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7: 1-6.

38.- 7.04.- ¿Puede llevarse a cabo la dispersión natural del taxón por medio de huevos (para animales) o por medio de propágulos (para plantas: semillas, esporas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede ser dispersada por otros organismos que presentan mayor movilidad como crustáceos. Se ha reportado como epibionte del cangrejo arquitecto *Microphrys interruptus* (Bruto-Costa et al., 2014) y del cangrejo *Pelia tumida* (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Bruto-Costa, L. V., Bezerra, L. E. & Pérez, C. D. 2014. The octocoral *Carijoa riisei* (Cnidaria, Anthozoa) as a macro-epibiont of the crab *Microphrys interruptus* (Crustacea, Brachyura, Majidae) in northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 9(2): 141-144. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

39.- 7.05.- ¿Puede la dispersión natural del taxón ocurrir en etapas larvales/juveniles (para animales) o por medio de fragmentos/brotos (para plantas) dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Las larvas tipo plánula rápidamente buscan un sustrato para asentarse y crecer, por lo que estas pueden desarrollarse en estructuras flotantes o incluso otros organismos que les permitan desplazarse y colonizar otras áreas. *Carijoa riisei* es una de las pocas especies de corales conocidas que realizan un desove asíncrono de gametos negativamente flotantes durante todo el año. No se sabe que ningún coral escleractiniano muestre esta estrategia reproductiva (Harrison & Wallace, 1990; Richmond & Hunter, 1990). Esta estrategia única puede contribuir a la colonización exitosa de sustratos artificiales, pero también hace que el éxito reproductivo sexual sea muy dependiente de la densidad y probablemente requiera una estrecha proximidad entre las colonias masculinas y femeninas (Kahng et al., 2008).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Harrison, P.L. & Wallace, C.C. 1990. Reproduction, dispersal and recruit-ment of scleractinian corals. In: Dubinsky Z (ed) *Coral reefs, eco-systems of the world* 25. Elsevier, Amsterdam, pp. 133–207. Richmond, R.H. & Hunter, C.L. 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the tropical Pacific, and the Red Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 60: 185-203. Kahng, S. E., Benayahu, Y., Wagner, D. & Rothe, N. 2008. Sexual reproduction in the invasive octocoral *Carijoa riisei* in Hawaii. *Bulletin of Marine Science* 82: 1-17.

40.- 7.06.- ¿Pueden los estadios post-juveniles y adultos del taxón migrar dentro del área AR para reproducirse?

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es una especie bentónica que se encuentra adherida a un sustrato y a menos que este sustrato se mueva no hay posibilidad de que los organismos se desplacen por sí mismos (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

41.- 7.07.- ¿Pueden los huevos o propágulos del taxón ser dispersados por otros animales dentro del área AR?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Puede ser dispersada por otros organismos que presentan mayor movilidad como crustáceos. Se ha reportado como epibionte del cangrejo arquitecto *Microphrys interruptus* (Bruto-Costa et al., 2014) y particularmente en Manzanillo se encontraron brotes de este coral creciendo sobre el caparazón del cangrejo *Pelia tumida* (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Bruto-Costa, L. V., Bezerra, L. E. & Pérez, C. D. 2014. The octocoral *Carijoa riisei* (Cnidaria, Anthozoa) as a macro-epibiont of the crab *Microphrys interruptus* (Crustacea, Brachyura, Majidae) in northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 9(2): 141-144. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

42.- 7.08.- **¿Puede la dispersión del taxón a lo largo de los vectores/vías mencionadas en las siete preguntas previas (7.01–7.07; p. ej. tanto accidental como intencional) ser rápida?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Ninguno de los estudios realizados hasta la fecha han examinado a detalle el desarrollo de las larvas de *C. riisei* para determinar su duración pelágica o sus patrones de asentamiento, los cuales son factores que podrían ayudar a explicar su amplia distribución geográfica (en el Indo-Pacífico, el Caribe y el Atlántico); sin embargo, el rápido desarrollo de sus colonias le permite asentarse en poco tiempo y cubrir amplias áreas (Kahng, 2006; Invemar, 2014, 2016). Se requieren estudios detallados para determinarlo con mayor precisión.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Kahng, S. 2006. Ecology and ecological impact of an alien octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii, United States (Doctoral dissertation). University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii. Invemar. 2014. Elementos técnicos que permitan establecer medidas de manejo, control, uso sostenible y restauración de los ecosistemas costeros y marinos del país. Código: ACT-BEM-001-014. Informe técnico final. Convenio MADS-INVEMAR No. 190. Santa Marta, Colombia. Invemar. 2016. Evaluación de la dinámica de crecimiento del octocoral invasor *Carijoa riisei* en el Chocó Norte, Pacífico Colombiano. Informe técnico final. Santa Marta, Colombia.

43.- 7.09.- **¿Es la dispersión del taxón dependiente de la densidad?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Su dispersión obedece más a sus mecanismos de reproducción que al efecto de aumento de densidad, aprovechando su capacidad para adherirse a estructuras sólidas como los cascos de los barcos (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

8.- Atributos de tolerancia

44.- 8.01.- **¿Puede el taxón resistir fuera del agua por periodos largos (p. ej. mínimo de una o más horas) en alguna etapa de su ciclo de vida?**

RESPUESTA: No

JUSTIFICACIÓN: Es un organismo totalmente marino (Galván-Villa observaciones personales).

CONFIANZA: Alta

45.- 8.02.- **¿Es el taxón capaz de tolerar un amplio rango de condiciones de calidad de agua relevantes para el mismo? [En el campo de Justificación, indique la(s) variable(s) de calidad de agua a la(s) que se refiere.]**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Es un alimentador filtrador pasivo y necesita cantidades moderadas de flujo de agua, que es provisto por oleadas de agua y corrientes por cambios de marea. No prolifera bajo la luz solar directa y generalmente es más abundante en superficies rocosas u otros sustratos duros a profundidades por debajo de la penetración de luz significativa (Kahng, 2006). Grigg (2003) afirma que no solo se puede encontrar esta especie en pilotes de embarcaciones en aguas poco profundas, sino que también es abundante en aguas mucho más profundas (hasta 120 m), especialmente en ambientes sombreados. En Manzanillo, solo se ha encontrado en condiciones de gran turbidez (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Kahng, S. 2006. Ecology and ecological impact of an alien octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii, United States (Doctoral dissertation). University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii. Grigg, R. W. 2003. Invasion of a Deep Black Coral bed by an Alien Species, *Carijoa riisei*, off Maui, Hawaii. *Coral Reefs* 22: 121-122. Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

46.- 8.03.- ¿Puede ser el taxón controlado o erradicado en estado silvestre por agentes químicos, biológicos u otros medios?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Recientemente se descubrió agentes potenciales para biocontrol de *C. riisei*, son dos especies de nudibranchios (Mollusca: Nudibranchia): el dendrodorido *Tritoniopsis elegans* y el aeolido *Phyllodesmium poindimiei*, para ambas especies se observó que consumían al coral *C. riisei*; sin embargo, debe someterse a más investigaciones antes de que pueda considerarse como una técnica de manejo real (Wagner et al., 2009).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Wagner, D., Kahng, S. E. & Toonen, R.J. 2009. Observations on the life history and feeding ecology of a specialized nudibranch predator (*Phyllodesmium poindimiei*), with implications for biocontrol of an invasive octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 472: 64-74.

47.- 8.04.- ¿Puede el taxón tolerar o beneficiarse de alteraciones ambientales/humanas?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: Requiere de una superficie firme en la que se adhiere utilizando estolones (estructuras similares a raíces). Debido a a esto crece bien en superficies duras artificiales como metal, plástico, concreto, etc. Se reporta comúnmente en arrecifes artificiales visitados por buceadores recreativos (Dhihya et al., 2012; Sánchez & Ballesteros, 2014).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Dhihya, P., Sachithanandam, V. & Mohan, P. M. 2012. New record of *Carijoa riisei* at Wandoor-Mahatma Gandhi Marine National Park [MGMNP], Adaman and Nicobar Islands, India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 41: 212-214. Sánchez, J.A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl. 1): 199-207.

48.- 8.05.- ¿Puede el taxón tolerar niveles de salinidad más altos o bajos que los que se encuentran en su ambiente habitual?

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: No se ha evaluado la capacidad de tolerancia de esta especie a los cambios de salinidad, sin embargo, se puede encontrar dentro de ambientes estuarinos donde las concentraciones de salinidad pueden variar considerablemente (ISSG, 2011).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: ISSG. 2011. Global Invasive Species Database (GISD). Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission. <http://www.issg.org/database>.

49.- 8.06.- **¿Existen enemigos naturales efectivos (depredadores) del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: Sí

JUSTIFICACIÓN: En Hawai se encontró que algunos nudibranchios actúan como depredadores de *C. riisei*. Se encontró que los nudibranchios *Phyllodesmium poindimiei* y *Tritoniopsis elegans* consumen a *C. riisei* (Wagner et al., 2009). Debido a lo anterior, es posible que se encuentren otras especies de nudibranchios locales que potencialmente puedan depredarlo en la región del Pacífico mexicano.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Wagner, D., Kahng, S. E. & Toonen, R.J. 2009. Observations on the life history and feeding ecology of a specialized nudibranch predator (*Phyllodesmium poindimiei*), with implications for biocontrol of an invasive octocoral (*Carijoa riisei*) in Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 472: 64-74.

C.- CAMBIO CLIMÁTICO

50.- 9.01.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de introducción del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: La especie ya se encuentra presente en la bahía de Manzanillo (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

51.- 9.02.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de establecimiento del taxón en el área AR?**

RESPUESTA: No aplica

JUSTIFICACIÓN: La especie ya se encuentra presente en la bahía de Manzanillo (Galván-Villa & Ríos-Jara, 2018).

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Galván-Villa, C. M. & Ríos-Jara, E. 2018. First detection of the alien snowflake coral *Carijoa riisei* (Duchassaing and Michelotti, 1860) (Cnidaria: Alcyonacea) in the port of Manzanillo in the Mexican Pacific. *BioInvasions Records* 7(1)1-6.

52.- 9.03.- **Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿son susceptibles de incrementarse, reducirse o no manifestar cambios los riesgos de dispersión del taxón dentro del área AR?**

RESPUESTA: Incremento

JUSTIFICACIÓN: El incremento en las temperaturas del agua superficial de los mares pueden favorecer su crecimiento, ya que es una especie bien adaptada a condiciones tropicales. La presencia de *C. riisei* en arrecifes rocosos se puede considerar una condición estresante a lo largo del Pacífico Oriental Tropical. Observaciones realizadas en Colombia sugieren que varias anomalías térmicas en el área conducen a enfermedades por hongos y mortalidades masivas de octocorales, por lo que, la sinergia entre *C. riisei* y las condiciones cambiantes puede acelerar la muerte de octocorales nativos y favorecer la incidencia de enfermedades fúngicas en los arrecifes (Sánchez & Ballesteros, 2014). Estudios previos han demostrado que la época de mayor presencia, abundancia y afectación de *C. riisei* es el segundo periodo del año, época caracterizada por un aumento en la temperatura superficial del mar alcanzando valores cercanos a los 30°C (Ballesteros, 2012). Las altas temperaturas, pueden estar contribuyendo no solo al aumento en abundancia de *C. riisei* sino

también a su éxito en el proceso de recuperación y expansión. Mejía et al. (2014) indicaron que una variación en la abundancia de *C. riisei* está relacionada con la temperatura del agua y afirmaron que su abundancia disminuye en zonas profundas en periodos fríos (diciembre--marzo), manteniendo solo las poblaciones someras durante esa temporada.

CONFIANZA: Muy alta

REFERENCIA: Sánchez, J. A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62: 199-207. Ballesteros, D.C. 2012. Efecto de la Variación Térmica en el crecimiento de *Pacifigorgia* spp. (Octocorallia: Gorgoniidae) frente al deterioro colonial y competencia de la especie invasora *Carijoa riisei* en el Pacífico colombiano. Tesis M.Sc. Ciencias Biológicas., Universidad de los Andes, Bogotá. 35 pp. Mejía, K., F. Zapata & L. Young. 2014. Ecología de la especie invasora *Carijoa riisei* (Octocorallia, Clavulariidae) en el Parque Nacional Natural Gorgona. Tesis de grado. Universidad de Antioquia, Facultad de ciencias Exactas y Naturales. 39 pp.

53.- 9.04.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la biodiversidad y/o al estatus/integridad ecológica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: El incremento en las temperaturas del agua superficial de los mares pueden favorecer su crecimiento, ya que es una especie bien adaptada a condiciones tropicales. La presencia de *C. riisei* en arrecifes rocosos se puede considerar una condición estresante a lo largo del Pacífico Oriental Tropical. Observaciones realizadas en Colombia sugieren que varias anomalías térmicas en el área conducen a enfermedades por hongos y mortalidades masivas de octocorales, por lo que, la sinergia entre *C. riisei* y las condiciones cambiantes puede acelerar la muerte de octocorales nativos y favorecer la incidencia de enfermedades fúngicas en los arrecifes (Sánchez & Ballesteros, 2014). Estudios previos han demostrado que la época de mayor presencia, abundancia y afectación de *C. riisei* es el segundo periodo del año, época caracterizada por un aumento en la temperatura superficial del mar alcanzando valores cercanos a los 30°C (Ballesteros, 2012). Las altas temperaturas, pueden estar contribuyendo no solo al aumento en abundancia de *C. riisei* sino también a su éxito en el proceso de recuperación y expansión. Mejía et al. (2014) indicaron que una variación en la abundancia de *C. riisei* está relacionada con la temperatura del agua y afirmaron que su abundancia disminuye en zonas profundas en periodos fríos (diciembre--marzo), manteniendo solo las poblaciones someras durante esa temporada.

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Sánchez, J. A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62: 199-207. Ballesteros, D.C. 2012. Efecto de la Variación Térmica en el crecimiento de *Pacifigorgia* spp. (Octocorallia: Gorgoniidae) frente al deterioro colonial y competencia de la especie invasora *Carijoa riisei* en el Pacífico colombiano. Tesis M.Sc. Ciencias Biológicas., Universidad de los Andes, Bogotá. 35 pp. Mejía, K., F. Zapata & L. Young. 2014. Ecología de la especie invasora *Carijoa riisei* (Octocorallia, Clavulariidae) en el Parque Nacional Natural Gorgona. Tesis de grado. Universidad de Antioquia, Facultad de ciencias Exactas y Naturales. 39 pp.

54.- 9.05.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a la estructura y/o función ecosistémica?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: La estructura de las comunidades del Pacífico mexicano puede verse afectada por el desplazamiento o competición con otras especies de corales residentes en la costa, como por ejemplo octocorales de los géneros *Leptogorgia* y *Pacifigorgia*, las cuales forman parte de las comunidades nativas como base de sustento para otras especies de peces e invertebrados y como elementos estructurales del hábitat. La alteración de las comunidades se ha reportado en otras regiones del Pacífico Oriental como el caso de Colombia, donde la infestación de *C. riisei* esta causando una disminución considerable (87%) de las colonias de octocorales en la Isla Gorgona (Sánchez & Ballesteros, 2014).

CONFIANZA: Alta

REFERENCIA: Sánchez, J. A. & Ballesteros, D. 2014. The invasive snowflake coral (*Carijoa riisei*) in the Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62: 199-207.

55.- 9.06.- Considerando las predicciones de condiciones climáticas futuras, ¿cuál es la posible magnitud de futuros impactos potenciales a los servicios ecosistémicos/factores socioeconómicos?

RESPUESTA: Más alta

JUSTIFICACIÓN: La alteración en la estructura de las comunidades de la región por la presencia de *C. riisei* puede ser causa de una disminución de especies en la región, en primera instancia compitiendo con otras especies de octocorales, lo que provocaría un cambio en la estructura física y salud del habitat, y posteriormente alterando las relaciones tróficas de las especies nativas. Para el caso particular de Manzanillo, esta disminución de especies puede afectar a las comunidades locales que dependen de ciertos recursos marinos de la bahía por actividades como pesca, cultivo o turismo. En el estado de Colima el cultivo de camarón es una actividad en desarrollo que adquiere un valor de producción del 7.2% del valor total de la actividad pesquera del estado. Otro sector importante para la región es el turismo que representa el 46.16% de aportación de empleo a la entidad, por lo que la alteración de los paisajes naturales puede impactar seriamente la economía de la población local (Torres-Preciado, 2016).

CONFIANZA: Media

REFERENCIA: Torres-Preciado, V.H. 2016. Economía. En: *La Biodiversidad en Colima. Estudio de Estado*. CONABIO. México, pp. 95-100.

Anexo 7. Primera salida de campo

Fecha de realización:

22 al 25 de noviembre de 2018

Lugar:

Manzanillo, Colima.

Objetivos:

- Hacer una búsqueda y registro de ejemplares de las especies reconocidas previamente como invasoras en la Bahía de Manzanillo, Colima, *Luidia magnifica*, *Astropecten polyacanthus* y *Carijoa riisei*.
- Realizar un primer acercamiento con pescadores de la Playa La Boquita mediante entrevistas informales para obtención de información respecto a las especies invasoras.

Resultados:

Se realizaron en total 6 inmersiones por 5 buzos, 5 inmersiones nocturnas en los sitios: Club de Yates, La Audiencia y San Pedrito, y 1 inmersión durante el día en el barco hundido en la Playa La Boquita (Figura A1). Las inmersiones nocturnas se realizaron entre las 20:00 y 24:00 hrs, debido a que las estrellas de mar *Luidia magnifica* y *Astropecten polyacanthus* son de hábitos nocturnos.

Durante las inmersiones nocturnas se registró una colonia del coral *Carijoa riisei* en la escollera de la Playa San Pedrito adherido a las estructuras de concreto a una profundidad de 7 metros (Figura A2) y otras cuatro colonias durante la inmersión diurna en el barco hundido en la Playa La Boquita adherido al casco del barco, a 8 metros (Figura A3). Además, durante una inmersión nocturna se encontraron dos ejemplares que aparentemente corresponden a la estrella de mar *Astropecten polyacanthus* en la Playa La Audiencia, sin embargo, se requiere una revisión detallada de los ejemplares para confirmar su identificación taxonómica (Figuras A4 y A5).

Durante la salida de campo se tomó un registro fotográfico de las actividades de buceo realizadas y de la fauna marina que se encontraba en cada uno de los sitios de muestreo, principalmente otras especies que pueden interactuar con las especies invasoras en las áreas de fondo arenoso. Principalmente se registraron especies de equinodermos y peces (Figura A6a-f).

Se realizaron entrevistas informales (a manera de charla) con pescadores y prestadores de servicios turísticos de la Playa La Boquita para generar un punto de partida respecto a su conocimiento sobre especies marinas invasoras en su localidad. La información obtenida servirá como base para la construcción del taller informativo sobre especies invasoras que

se realizará en la segunda salida de campo (aproximadamente en el mes de febrero de 2019).

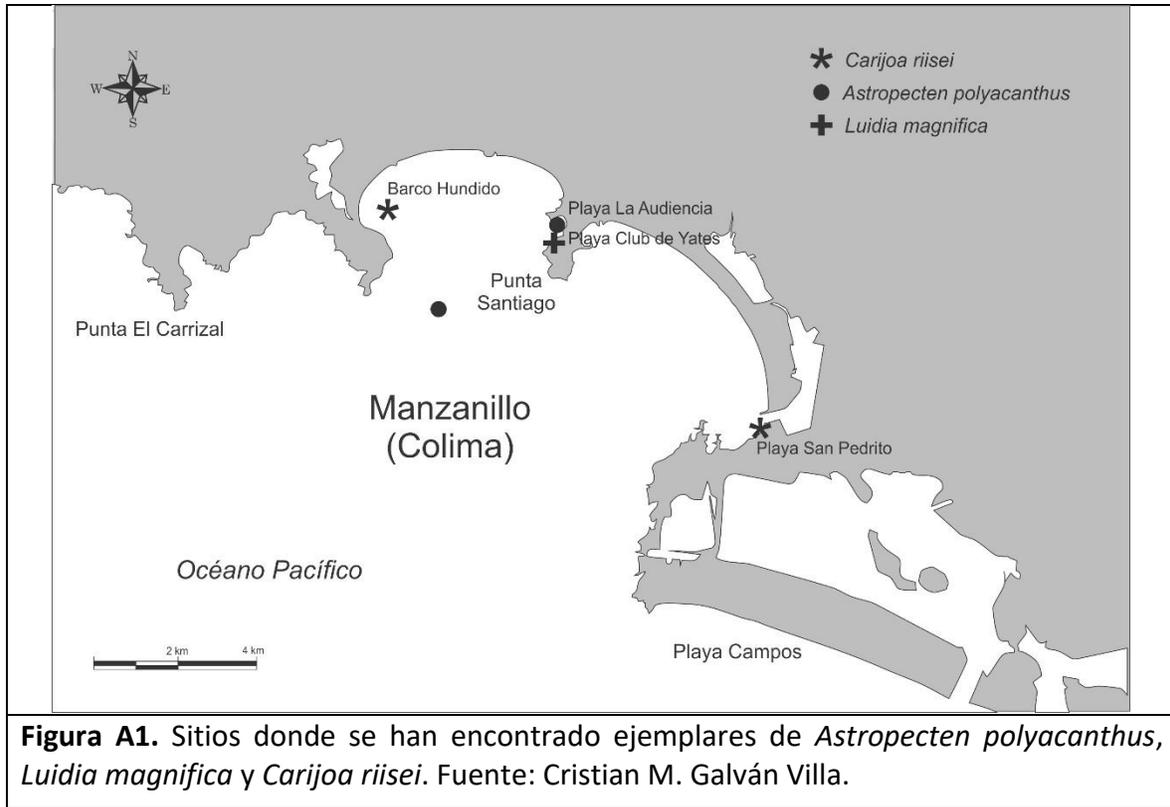


Figura A1. Sitios donde se han encontrado ejemplares de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei*. Fuente: Cristian M. Galván Villa.



Figura A2. *Carijoa riisei* adherido a estructuras de concreto en el muelle de la Playa San Pedrito, Manzanillo, Colima. Fotografía: Cristian M. Galván Villa.



Figura A3. Coral *Carijoa riisei* adherido al casco del barco hundido en la Playa La Boquita, Manzanillo, Colima. Fotografía: Cristian M. Galván Villa.



Figura A4. Ejemplar 1 de estrella de mar del género *Astropecten* encontrada en la Playa La Audiencia, Manzanillo, Colima. Fotografía: Cristian M. Galván Villa.



Figura A5. Ejemplar 2 de estrella de mar del género *Astropecten* encontrada en la Playa La Audiencia, Manzanillo, Colima. Fotografía: Cristian M. Galván Villa.

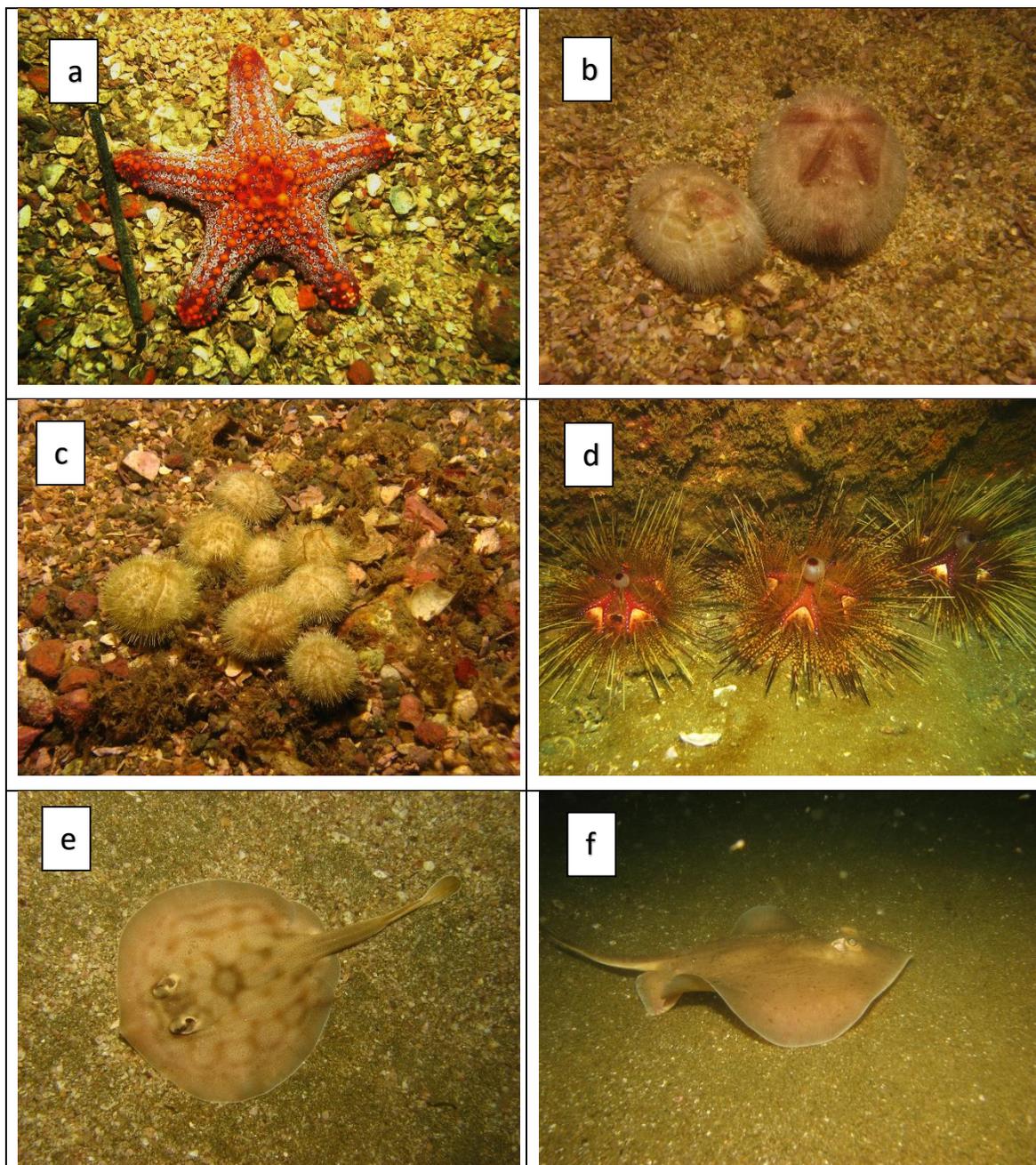


Figura A6. Especies de equinodermos y rayas que se encuentran asociadas a los sitios donde se han registrado las especies invasoras registradas en Manzanillo, Colima. a) Estrella de mar colchón *Pentaceraster cumingi*; b) Erizo irregular *Metalia spatangus*; c) Corazón de mar *Agassizia scrobiculata*; d) Erizo regular *Astropyga pulvinata*; e) Raya redonda concentrica *Urobatis concentricus*; f) Raya redonda chilena *Urotrygon chilensis*. Fotografías: Cristian M. Galván Villa.

