

Proyecto GEF-EEI 00089333 FSP - Fort. capacidades manejo de Especies Exóticas Invasoras



“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”

**Tercer Informe Parcial
Análisis Costo-Beneficio**

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

18 de junio de 2019



“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. Análisis de costo-beneficio para la implementación de protocolos de detección temprana y respuesta rápida ante la introducción de las estrellas de mar *Astropecten polyacanthus* y *Luidia magnifica*, y el coral Copo de Nieve *Carijoa riisei*. 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”. 25 pp. 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: Se presenta un análisis de costo-beneficio para la implementación de protocolos de detección temprana y respuesta rápida ante la introducción de las estrellas de mar *Astropecten polyacanthus* y *Luidia magnifica*, y el coral Copo de Nieve *Carijoa riisei*, todas ellas provenientes del Indo-Pacífico. En este análisis se presenta un cálculo de posibles costos requeridos para el control y erradicación de las especies, así como los beneficios obtenidos al evitar que estas especies se conviertan en especies invasoras y afecten las poblaciones de especies locales o alteren la estabilidad de los ecosistemas costeros de las bahías de Manzanillo, Colima.

Tabla de contenido

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO	5
OBJETIVOS DEL ANÁLISIS	5
a) Estrella de mar de Peine (<i>Astropecten polyacanthus</i>)	5
b) Estrella de mar Magnifica (<i>Luidia magnifica</i>)	12
c) Coral Copo de Nieve (<i>Carijoa riisei</i>)	17
RECOMENDACIONES	22
BIBLIOGRAFÍA	24

Índice de Figuras

Figura 1. Beneficios por la reducción de daños debidos al manejo de la estrella de mar de Peine <i>Astropecten polyacanthus</i>	6
Figura 2. Curvas de crecimiento de la población de <i>Astropecten polyacanthus</i>	7
Figura 3. Valor Presente Neto: <i>Astropecten polyacanthus</i> . VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.....	8
Figura 4. Relación Costo-Beneficio para <i>Astropecten polyacanthus</i>	9
Figura 5. Beneficios por el manejo de la estrella de mar Magnifica <i>Luidia magnifica</i>	13
Figura 6. Curvas de crecimiento de la población de <i>Luidia magnifica</i>	13
Figura 7. Valor Presente Neto: <i>Luidia magnifica</i> . VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.....	14
Figura 8. Relación Costo-Beneficio para <i>Luidia magnifica</i>	15
Figura 9. Beneficios por el manejo del coral Copo de Nieve <i>Carijoa riisei</i>	17
Figura 10. Curvas de crecimiento de la población de <i>Carijoa riisei</i>	18
Figura 11. Valor Presente Neto: <i>Carijoa riisei</i> . VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.....	19
Figura 12. Relación Costo-Beneficio para <i>Carijoa riisei</i>	19

Análisis de Costo-beneficio

Objetivos del análisis

Entre los muchos mecanismos económicos para la atención de especies exóticas invasoras se encuentran los estudios de costo-beneficio. Estos pueden ser una herramienta eficaz para cuantificar los valores económicos tanto de los daños como de los beneficios potenciales que se puedan generar por la introducción de una nueva especie (Emerton & Howard, 2008).

En la mayoría de las ocasiones una especie introducida genera pérdidas (ambientales, económicas, salud, etc.); pero en algunas otras, estas especies tienen potencial como fuente de alimentación, aportar nutrientes a un ambiente, u otros. Los daños anuales y los costos de control asociados con un conjunto de especies exóticas invasoras (EEI) económicamente relevantes se estimaron de manera conservadora en € 12 mil millones para Europa y £ 1,7 mil millones para Gran Bretaña (Kettunen *et al.*, 2008; Scalera, 2010; Williams *et al.*, 2010). Además, las EEI también son una de las principales causas de pérdida de biodiversidad (Bellard *et al.*, 2016). Es por esto que los estudios de costo-beneficio permiten analizar las causas de un problema, establecer las conexiones entre el comportamiento humano y los procesos naturales, e identificar y valorar los costos (ambientales y sociales), así como los beneficios de cada opción considerada para combatir al invasor (Parpal-Servole *et al.*, 2017).

a) Estrella de mar de Peine (*Astropecten polyacanthus*)

Para el análisis de costo-beneficio de la estrella de mar de Peine (*Astropecten polyacanthus*) se consideraron tres alternativas para su control: 1) Extracción manual (captura directa), 2) uso de trampas, y 3) control mediante aplicación de un químico (ácido acético). Debido a la falta de información sobre la biología y ecología de la especie se utilizó información de otras especies del mismo género: *A. aranciacus*, *A. irregularis* y *A. marginatus* (Freeman *et al.*, 2001; Guilherme & Rosa, 2014; Baeta *et al.*, 2016). La proyección del análisis se realizó a 10 años con una tasa de reducción del 8%. Los resultados indican que de las tres opciones la extracción mediante el método de extracción manual resulta el de mayores beneficios (Figura 1). Aunque en términos de costos las opciones de extracción manual y control químico con ácido acético resultan prácticamente iguales.

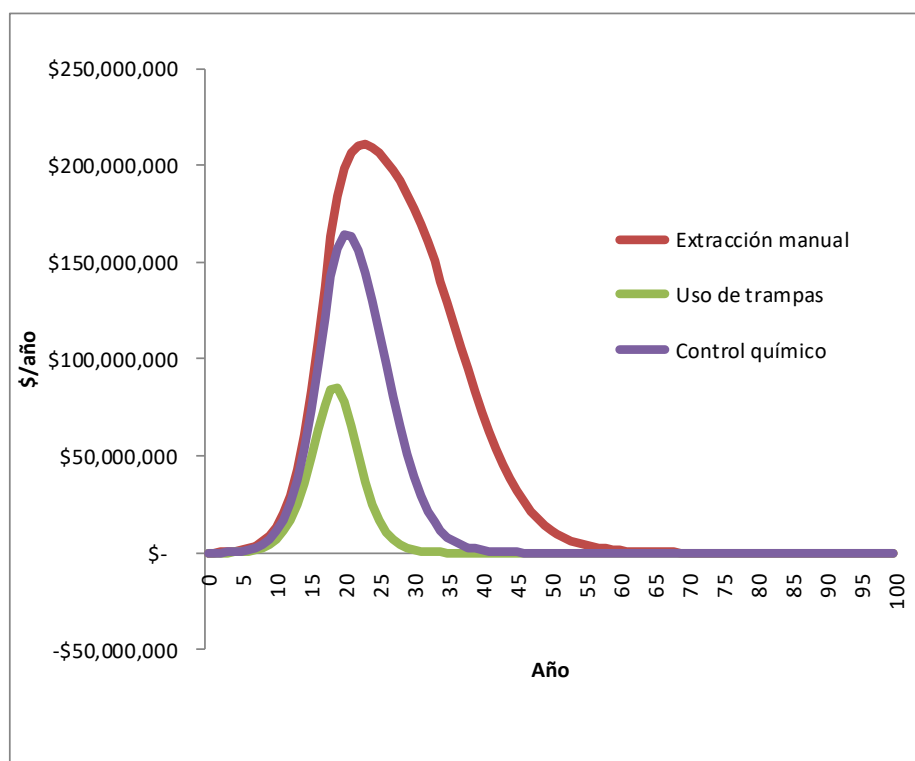


Figura 1. Beneficios por la reducción de daños debidos al manejo de la estrella de mar de Peine *Astropecten polyacanthus*.

Mediante un método de extrapolación y con base en los registros obtenidos durante el monitoreo en campo entre los años 2017-2019, se estimó un tamaño poblacional máximo en las bahías de Manzanillo, Colima. Actualmente, los valores de densidad que se tienen son muy bajos, con apenas un individuo/0.01 km². No se conocen las tasas de reproducción ni de crecimiento para esta especie, por lo que, los cálculos de la población se realizaron con base en datos obtenidos para otras especies del mismo género (Freeman *et al.*, 2001; Guilherme & Rosa, 2014; Baeta *et al.*, 2016).

El esfuerzo de trabajo en campo mediante inmersiones se calculó con base en un equipo de seis buzos, los cuales pueden realizar dos inmersiones en una noche por 3 días de campaña y a su vez realizando esta misma actividad de forma mensual. En total se obtendría un esfuerzo de muestreo de 432 inmersiones al año para realizar la extracción o la aplicación del químico. Para el caso de la colocación de trampas, el esfuerzo de trabajo en campo se mantiene igual con la diferencia de que se puede trabajar con un equipo menor de cuatro buzos, los cuales se encargan de colocar y retirar las trampas.

Aplicando cualquiera de los tres métodos de control se espera que haya una reducción en el tamaño poblacional y se estima que esta tasa sea mayor con la extracción directa de los

organismos (Figura 2). Aplicando el método de extracción directa se estima que el tiempo para que la población inicial alcance un punto máximo es mayor, por lo tanto, con esto se reduce la capacidad para que estos organismos, si están en edad, lleguen a reproducirse y si se capturan en estadios juveniles se puede impedir que lleguen a edades de madurez sexual, lo que puede contribuir significativamente a una reducción poblacional.

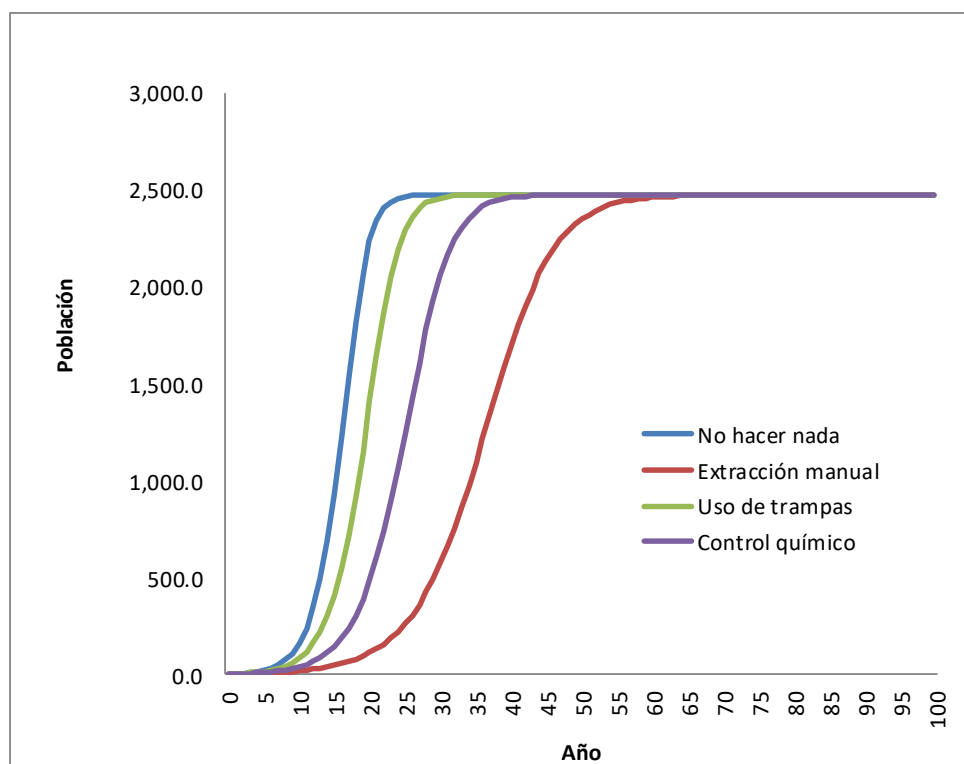


Figura 2. Curvas de crecimiento de la población de *Astropecten polyacanthus*.

Con base en el análisis de costo-beneficio se determinó que la opción de extracción manual resulta ser la mejor opción y en segundo lugar el control químico (Tablas 1-3). A pesar de que los costos son un poco mayores para la primera opción, debido al manejo en tierra que se tiene que hacer con los organismos capturados, a largo plazo genera mayores beneficios económicos (Figuras 3 y 4). En la figura 3 se presenta el valor presente neto (VPN) para cada de las alternativas propuestas. El valor presente neto (VPN) también llamado valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos (en este caso beneficios y costos) de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

Hay que considerar que conforme se reduzca el número de individuos, se reducirán los costos de manejo en tierra. Una alternativa es que estos organismos capturados sean donados a las universidades para estudios que generen información básica de las especies y a su vez esta información ayude a mejorar las estrategias de manejo y control.

Aunque la aplicación de químicos ha resultado eficiente en otros países, se requiere hacer pruebas experimentales para corroborar su efectividad con esta especie, así como precisar la dosis adecuada y evaluar que ninguna otra especie resulte perjudicada. Aunque la aplicación del ácido acético se realiza de manera directa sobre la estrella de mar, los restos pueden ser ingeridos por otros organismos y no se sabe si esto tendrá repercusiones a esas especies. Se sugiere que antes de decidir por esta opción se tomen en cuenta estas consideraciones, de manera que el método de control genere los resultados esperados.

Los costos pueden reducirse si se disminuye el esfuerzo de trabajo en campo, sin embargo, esto implica menor eficiencia en el control de las poblaciones introducidas. Adicionalmente, se debe considerar un gasto extra en algunos equipos (Tabla 4) y materiales para los buzos como parte de su equipamiento para realizar las actividades de extracción, trampeo o aplicación de químico.

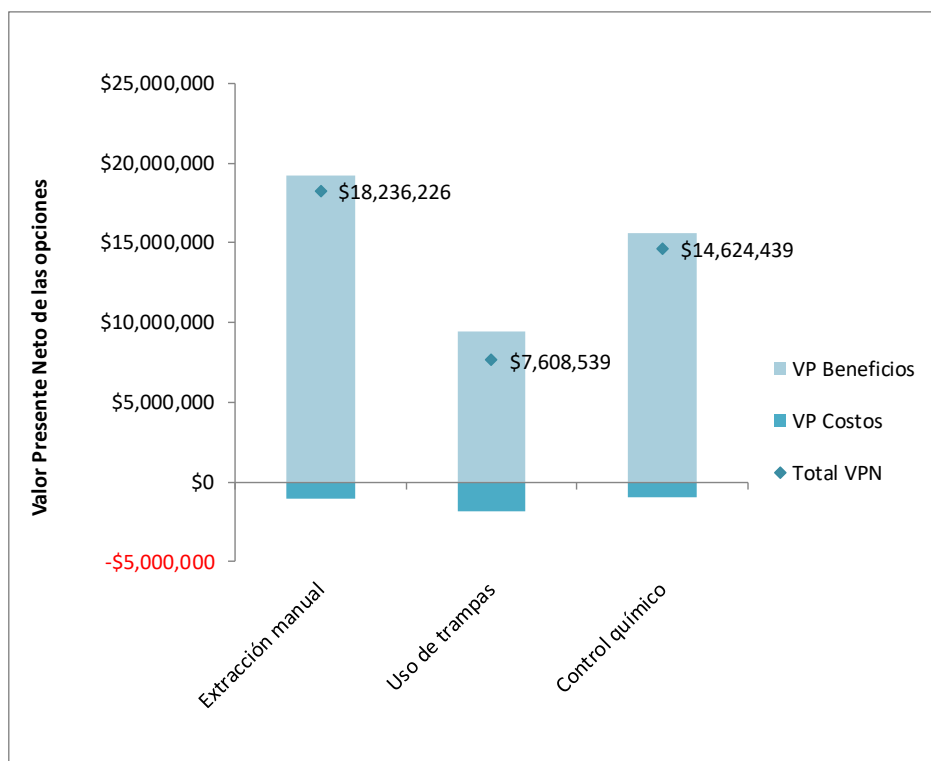


Figura 3. Valor Presente Neto: *Astropecten polyacanthus*. VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.

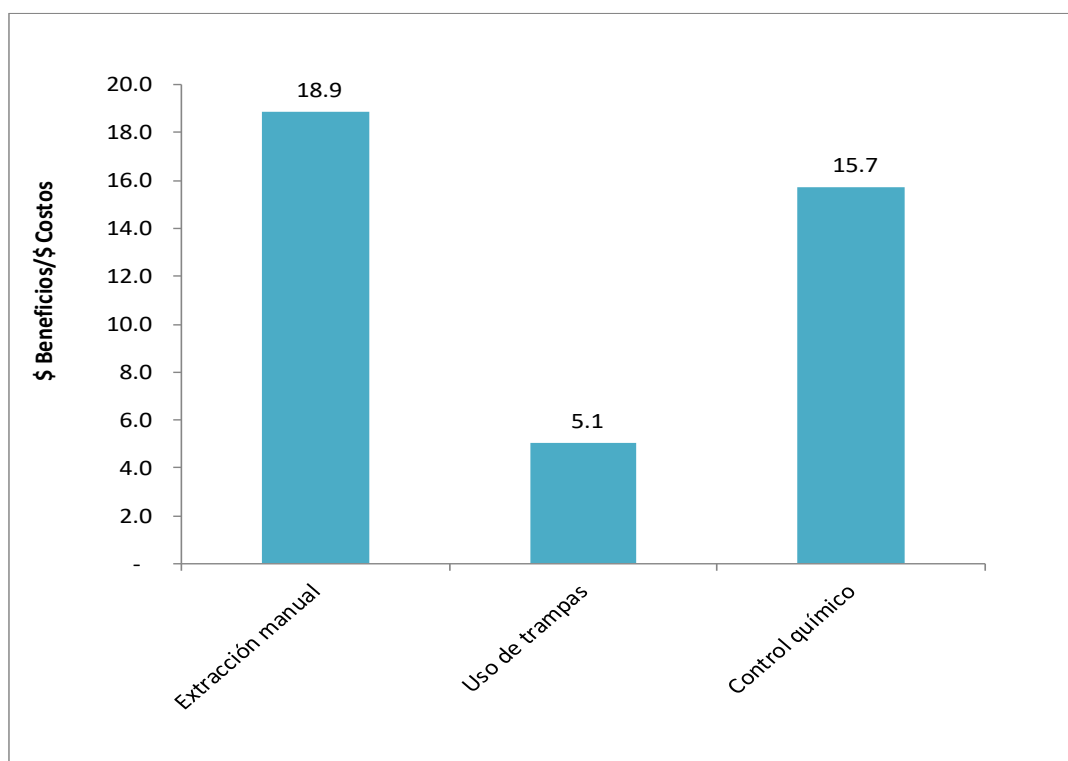


Figura 4. Relación Costo-Beneficio para *Astropecten polyacanthus*.

Tabla 1. Valores unitarios monetizados de beneficios cuantificados y costos del manejo de *Astropecten polyacanthus*.

Costo/Categorías de beneficios	Categoría	Unidad de medida	Valor de unidad (\$/unidad)
Beneficio anual	Biodiversidad	Número de especies	\$ -
	Producción pesquera	Ingreso mensual/pescador	\$ 14,000.00
	Calidad del paisaje	Playas	\$ -
Costo anual	Labor de extracción/aplicación	buceo/día	\$ 300.00
	Costo del químico	Litro	\$ 500.00
	Manejo de organismos en tierra	Organismo	\$ 60.00
	Colocación de trampas	buceo/día	\$ 600.00
Costo inicial	Mallas de colecta	Pieza	\$ 150.00
	Trampas	Pieza	\$ 1,300.00
	Aplicador para químico	Pieza	\$ 900.00
	Equipos de buceo	Set	\$ 18,000.00

Tabla 2. Unidades físicas de beneficios cuantificados y costos de la gestión (período inicial).

Categoría Costo/Beneficio	Categoría	No hacer nada	Extracción manual	Uso de trampas	Control químico
Beneficios	Biodiversidad	50	50	50	50
	Producción pesquera	20	20	20	20
	Calidad del paisaje	3	3	3	3
Costo anual	Labor de extracción/aplicación	0	432	0	432
	Costo del químico	0	0	0	1
	Manejo de organismos en tierra	0	100	100	0
	Colocación de trampas	0	0	432	0
Costo inicial	Mallas de colecta	0	12	12	0
	Trampas	0	0	12	0
	Aplicador para químico	0	0	0	12
	Equipos de buceo	0	6	4	6

Tabla 3. Resumen del análisis de costo-beneficio para la gestión de la estrella de mar de peine *Astropecten polyacanthus* ($r = X\%$, $t = Y$ años). PV = Valor Presente. NPV = Valor Presente Neto.

Opción	VP Costos	VP Beneficios	Total VPN	Relación Costo-Beneficio (BCR)	Rango de opción basado en VPN	Rango de opción basado en BCR
No hacer nada	\$0	\$0	\$0	1.0	4	4
Extracción manual	\$1,019,687	\$19,255,913	\$18,236,226	18.9	1	1
Uso de trampas	\$1,868,914	\$9,477,453	\$7,608,539	5.1	3	3
Control químico	\$991,782	\$15,616,221	\$14,624,439	15.7	2	2

Tabla 4. Costo de las acciones por cada actividad (Costos estimados para el primer año).

Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Costo/unidad	Total	Total
Extracción manual					
Labor de extracción	Buceo/día	432	\$300.00	\$129,600.00	\$245,400.00
Equipo de buceo*	Set	6	\$18,000.00	\$108,000.00	
Manejo de organismos en tierra**	Organismo	100	\$60.00	\$6,000.00	
Mallas para colecta	Pieza	12	\$150.00	\$1,800.00	
Uso de trampas					
Trampas	Pieza	12	\$1,300.00	\$15,600.00	\$354,600.00
Mallas de colecta	Pieza	12	\$150.00	\$1,800.00	
Equipos de buceo*	Set	4	\$18,000.00	\$72,000.00	
Colocación de trampas	Buceo/día	432	\$600.00	\$259,200.00	
Manejo de organismos en tierra	Organismo	100	\$60.00	\$6,000.00	
Control químico					
Ácido acético	Litro	1	\$500.00	\$500.00	\$248,900.00
Aplicador para químico	Pieza	12	\$900.00	\$10,800.00	
Labor de aplicación	Buceo/día	432	\$300.00	\$129,600.00	
Equipos de buceo*	Set	6	\$18,000.00	\$108,000.00	
Otros materiales y equipos por buzo					
Brújula de buceo	Pieza	1	\$1,500.00	\$1,500.00	\$13,700.00
Cámara fotográfica sumergible	Pieza	1	\$7,500.00	\$7,500.00	
Lámpara de buceo	Pieza	2	\$1,600.00	\$3,200.00	
Set de aletas y visor	Paquete	1	\$1,500.00	\$1,500.00	

*Equipo de buceo incluye el set con BCD (chaleco compensador) y reguladores (primera y segunda etapas).

**El Manejo de organismos en tierra considera materiales como frascos y soluciones para conservar los organismos.

b) Estrella de mar Magnifica (*Luidia magnifica*)

Para el análisis de costo-beneficio de la estrella de mar Magnifica (*Luidia magnifica*), al igual que para la especie anterior y debido a que son organismos con características muy similares (bentónicos, asociados a fondos arenosos, hábitos nocturnos, se han encontrado en las mismas playas, etc.) se consideran tres alternativas para su control: 1) Extracción manual, 2) uso de trampas, y 3) control mediante aplicación de un químico (Ácido acético). La proyección del análisis se realizó a 10 años con una tasa de reducción del 8%. Debido a la falta de información sobre la biología y ecología de la especie se utilizó información de otras especies del mismo género: *L. senegalensis* y *L. clathrate* (Halpern, 1970; Lawrence & Dehn, 1979). Los resultados son muy similares a los obtenidos en el análisis realizado para *Astropecten polyacanthus*. Se encontró que de las tres opciones la extracción mediante el método de extracción manual resulta el de mayores beneficios (Figura 5). Aunque en términos de costos las opciones de extracción manual y control químico con ácido acético resultan prácticamente iguales.

Mediante un método de extrapolación y con base en los registros obtenidos durante el monitoreo en campo entre los años 2017-2019, se estimó un tamaño poblacional máximo en las bahías de Manzanillo, Colima. Actualmente, los valores de densidad que se tienen son bajos, con valores de entre 3 y 11 individuos/0.01 km². No se conocen las tasas de reproducción ni de crecimiento para esta especie, por lo que, los cálculos de la población se realizaron con base en datos obtenidos para otras especies del género *Luidia* (Halpern, 1970; Lawrence & Dehn, 1979).

Aplicando cualquiera de los tres métodos de control se espera que haya una reducción en el tamaño poblacional y se estima que esta tasa sea mayor con la extracción directa de los organismos (Figura 6). Con la captura y extracción de organismos se evita que estos lleguen a reproducirse y si se capturan en estadios juveniles se puede impedir que lleguen a edades de madurez sexual, lo que puede contribuir significativamente a una reducción poblacional.

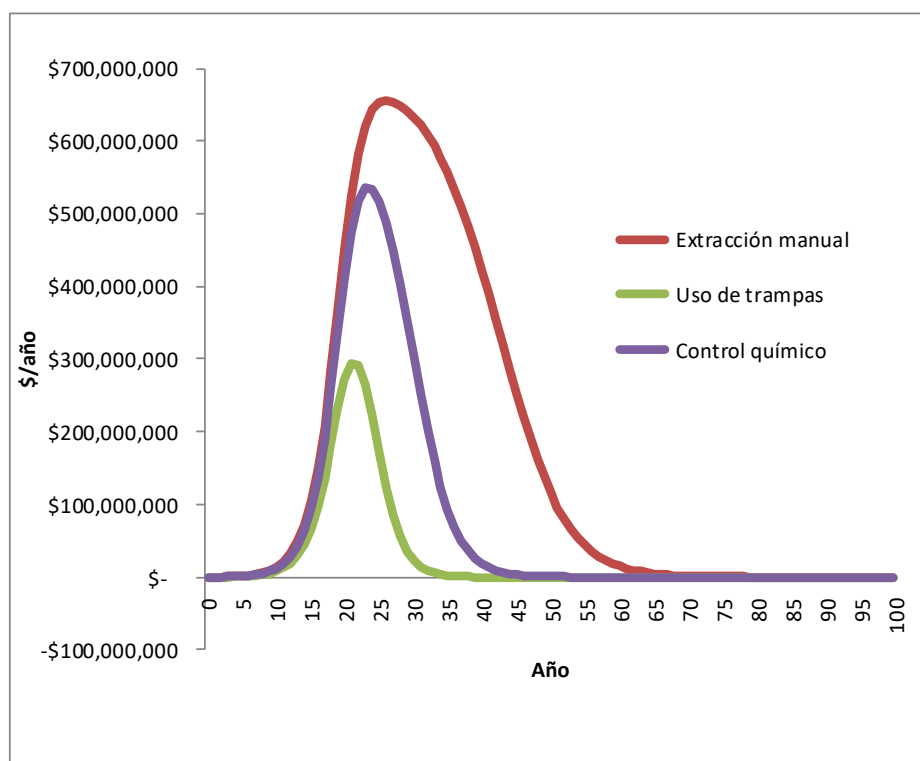


Figura 5. Beneficios por el manejo de la estrella de mar Magnifica *Luidia magnifica*.

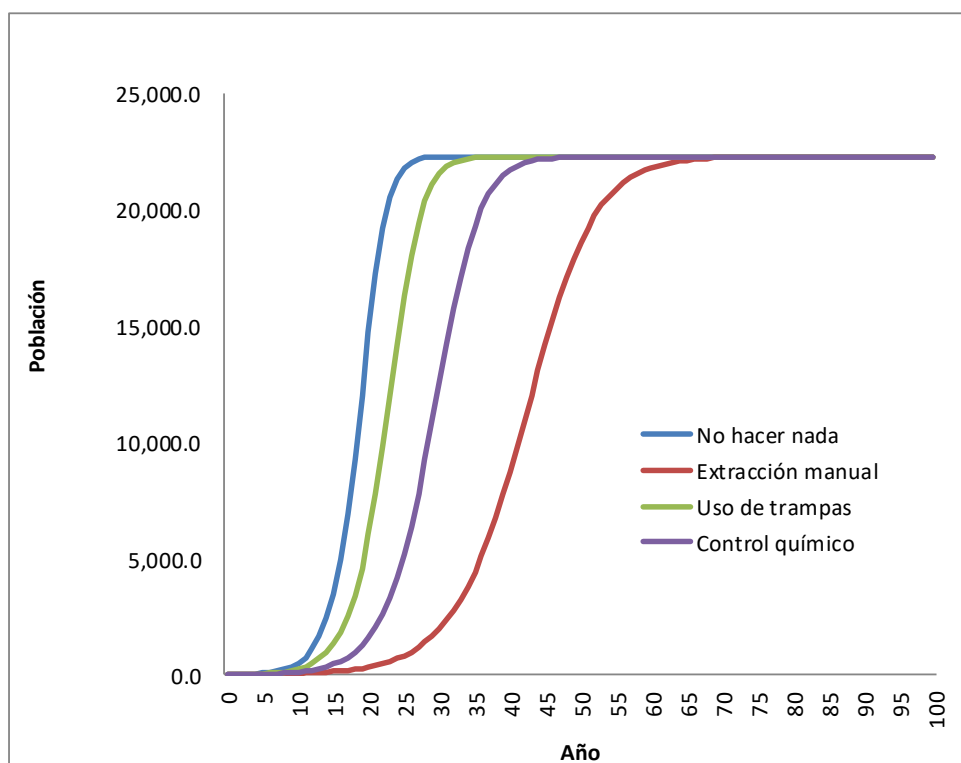


Figura 6. Curvas de crecimiento de la población de *Luidia magnifica*.

Con base en el análisis se determinó que la opción con mejor relación costo-beneficio es la de extracción manual y en segundo lugar el control químico (Tablas 5-7). A pesar de que los costos son un poco mayores para la primera opción, debido al manejo en tierra que se tiene que hacer con los organismos capturados, a largo plazo genera una mejor relación de en beneficios económicos (Figuras 7 y 8). Los costos detallados para cada actividad se pueden consultar en la tabla 4, los cuales son los mismos que para la estrella de Peine *Astropecten polyacanthus*. De la misma forma que con la estrella de Peine, hay que considerar que conforme se reduzca el número de individuos, se reducirán los costos de manejo en tierra. Una alternativa es que estos organismos capturados sean donados a las universidades para estudios que generen información básica de las especies y a su vez esta información ayude a mejorar las estrategias de manejo y control.

Otra opción que puede ayudar a reducir costos y hacer más eficiente los recursos, es implementar un programa de forma simultanea para ambas especies. Como se comentó anteriormente tanto *Astropecten polyacanthus* como *Luidia magnifica* son especies que comparten el mismo hábitat y presentan características ecológicas muy similares, de manera que se puede implementar el mismo protocolo de respuesta rápida para su control/erradicación, reduciendo significativamente los costos de operación.

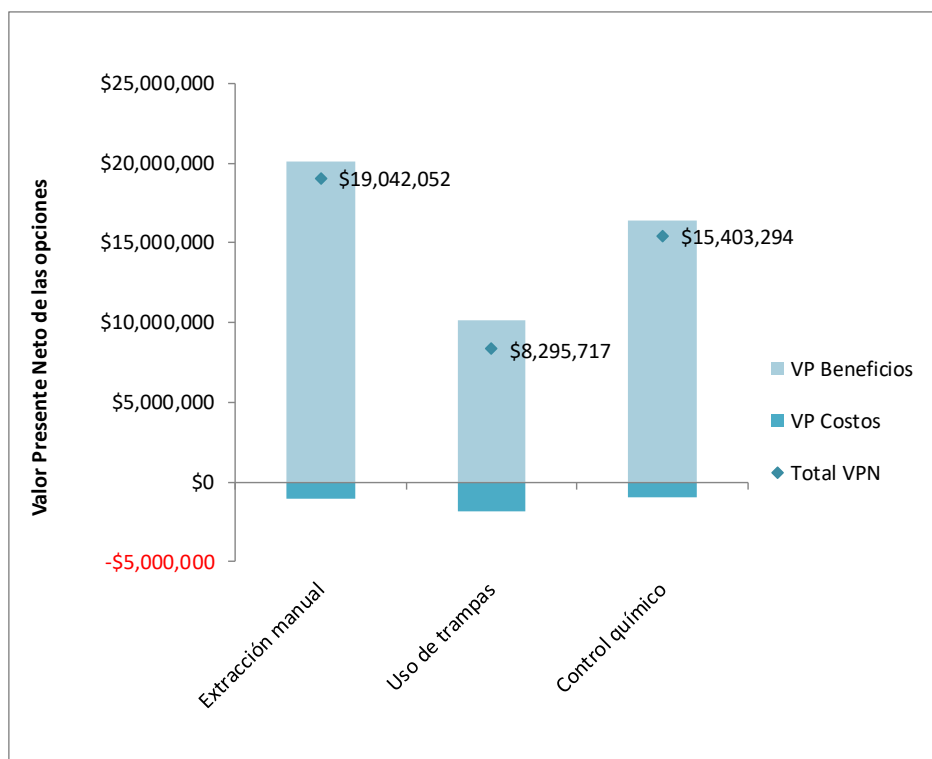


Figura 7. Valor Presente Neto: *Luidia magnifica*. VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.

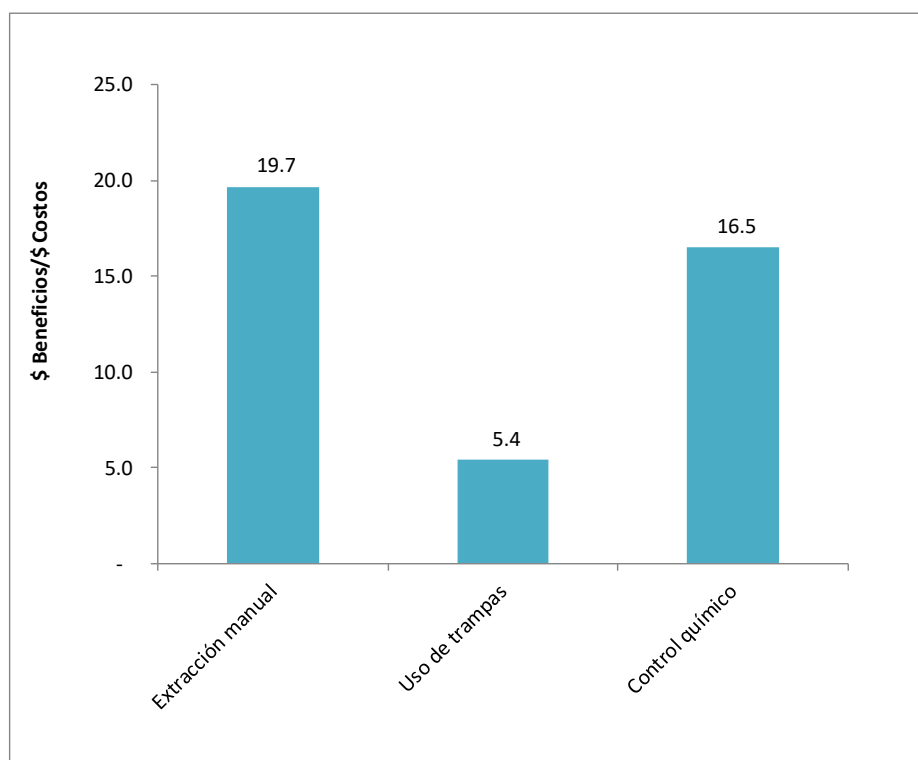


Figura 8. Relación Costo-Beneficio para *Luidia magnifica*.

Tabla 5. Valores unitarios monetizados de beneficios cuantificados y costos del manejo de *Luidia magnifica*.

Categoría Costo/Beneficio	Categoría	Unidad de medida	Valor de unidad (\$/unidad)
Beneficio anual	Biodiversidad	Número de especies	\$ -
	Producción pesquera	Ingreso mensual/pescador	\$ 14,000.00
	Calidad del paisaje	Playas	\$ -
Costo anual	Labor de extracción/aplicación	buceo/día	\$ 300.00
	Costo del químico	Litro	\$ 500.00
	Manejo de organismos en tierra	Organismo	\$ 60.00
	Colocación de trampas	buceo/día	\$ 600.00
Costo inicial	Mallas de colecta	Pieza	\$ 150.00
	Trampas	Pieza	\$ 1,300.00
	Aplicador para químico	Pieza	\$ 900.00

Proyecto GEF-EEI_ Protocolo de detección temprana y respuesta rápida para la atención de invasiones ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei* en Manzanillo.

	Equipos de buceo	Set	\$ 18,000.00
--	------------------	-----	--------------

Tabla 6. Unidades físicas de beneficios cuantificados y costos de la gestión (período inicial).

Categoría Costo/Beneficio	Categoría	No hacer nada	Extracción manual	Uso de trampas	Control químico
Beneficios	Biodiversidad	50	50	50	50
	Producción pesquera	20	20	20	20
	Calidad del paisaje	3	3	3	3
Costo anual	Labor de extracción/aplicación	0	432	0	432
	Costo del químico	0	0	0	1
	Manejo de organismos en tierra	0	100	100	0
	Colocación de trampas	0	0	432	0
Costo inicial	Mallas de colecta	0	12	12	0
	Trampas	0	0	12	0
	Aplicador para químico	0	0	0	12
	Equipos de buceo	0	6	4	6

Tabla 7. Resumen del análisis de costo-beneficio para la gestión de la estrella de mar magnífica *Luidia magnifica* ($r = X\%$, $t = Y$ años). VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.

Opción	VP Costos	VP Beneficios	Total VPN	Relación Costo-Beneficio (BCR)	Rango de opción basado en VPN	Rango de opción basado en BCR
No hacer nada	\$0	\$0	\$0	1.0	4	4
Extracción manual	\$1,019,687	\$20,061,739	\$19,042,052	19.7	1	1
Uso de trampas	\$1,868,914	\$10,164,630	\$8,295,717	5.4	3	3
Control químico	\$991,782	\$16,395,076	\$15,403,294	16.5	2	2

c) Coral Copo de Nieve (*Carijoa riisei*)

Para el análisis de costo-beneficio del coral Copo de Nieve (*Carijoa riisei*) se consideraron tres alternativas para su control: 1) Remoción manual (extracción directa), 2) aplicar un tratamiento de agua dulce y 3) control mediante agentes biológicos (Bio-control). La proyección del análisis se realizó a 10 años con una tasa de reducción del 8%. Los resultados indican que de las tres opciones la remoción manual de las colonias resulta el de mayores beneficios (Figura 9). Aunque en términos de costos la opción de aplicación de tratamiento con agua dulce resulta ser la más económica, tiene varias limitaciones (por ejemplo, no se cuenta con una técnica estandarizada para su aplicación y se desconoce su efectividad en el mar) que reducen en mayor medida su eficiencia.

Debido a que el nivel de infestación por el coral Copo de Nieve en la bahía de Manzanillo, Colima se encuentra en un punto inicial, la implementación del protocolo de respuesta rápida con este método para la erradicación de la especie puede llegar a tener una efectividad muy alta (Figura 10). En este mismo sentido, la relación de costo-beneficios fue mayor para el método de remoción manual que para los otros dos métodos propuestos (Figuras 11 y 12, tablas 8-10).

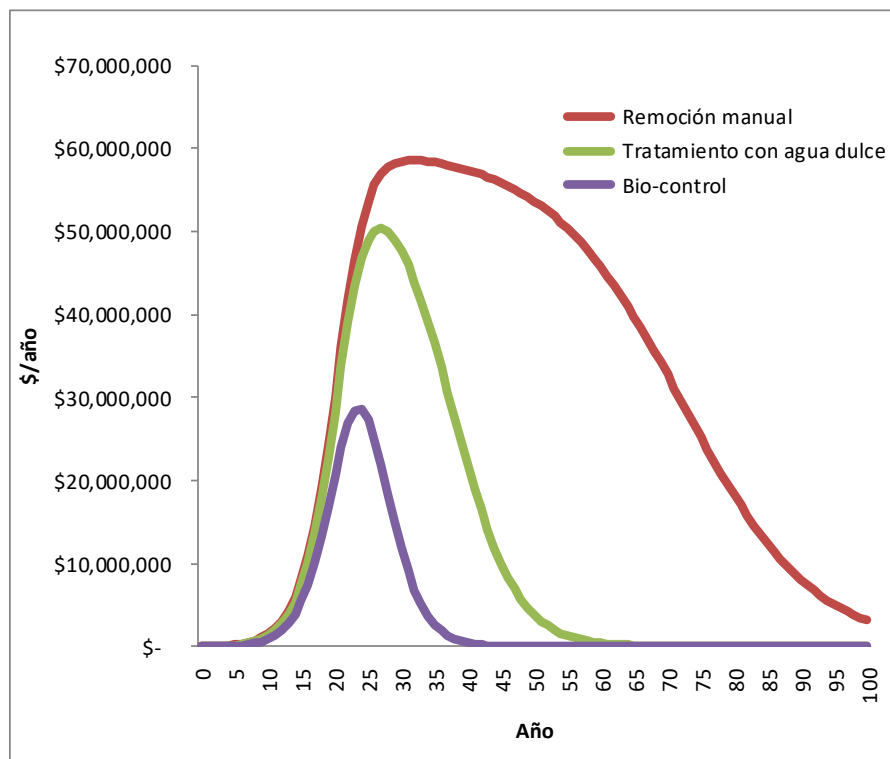


Figura 9. Beneficios por el manejo del coral Copo de Nieve *Carijoa riisei*.

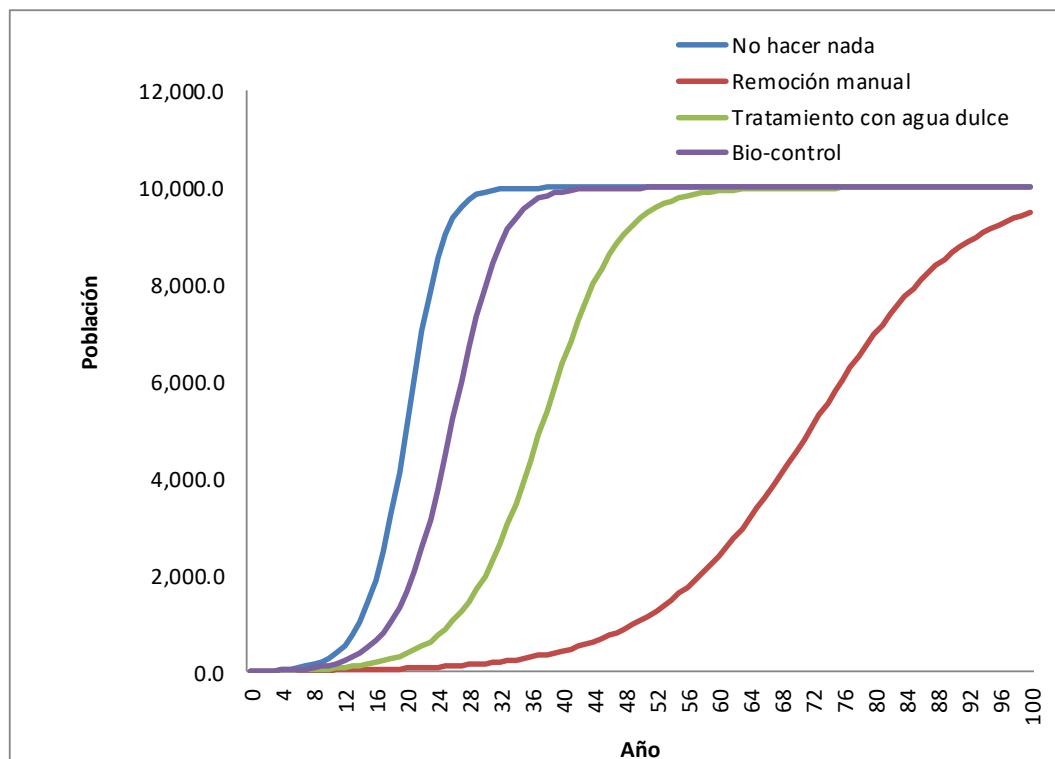


Figura 10. Curvas de crecimiento de la población de *Carijoa riisei*.

La implementación de un bio-control se ha reportado a nivel experimental utilizando nudibranquios (Mollusca: Opisthobranchia) (Wagner *et al.*, 2009). Aunque es una alternativa muy atractiva desde el punto de vista ecológico, esta tiene aún muchas limitaciones. Por un lado, se necesita desarrollar investigación científica que permita identificar aquellas especies potenciales como depredadoras del coral y que además sean especies locales. Por otro lado, se requiere una gran infraestructura inicial para generar el número de nudibranquios necesario para devorar en su totalidad las colonias del coral Copo de Nieve, si esto no llegara a suceder es posible que las colonias pudieran recuperarse en poco tiempo como se ha observado en los arrecifes de Colombia (Invemar, 2016), lo que significaría mayores costos. En términos de costos, implicaría estar reproduciendo los nudibranquios, lo que puede tomar tiempo para llegar al número requerido para la eliminación total del coral. Finalmente, se debe tener cuidado en liberar un gran número de organismos de cualquier especie, ya que esto puede llegar a alterar las cadenas tróficas y la dinámica de las comunidades locales (Schultz *et al.*, 2011).



Figura 11. Valor Presente Neto: *Carijoa riisei*. VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.

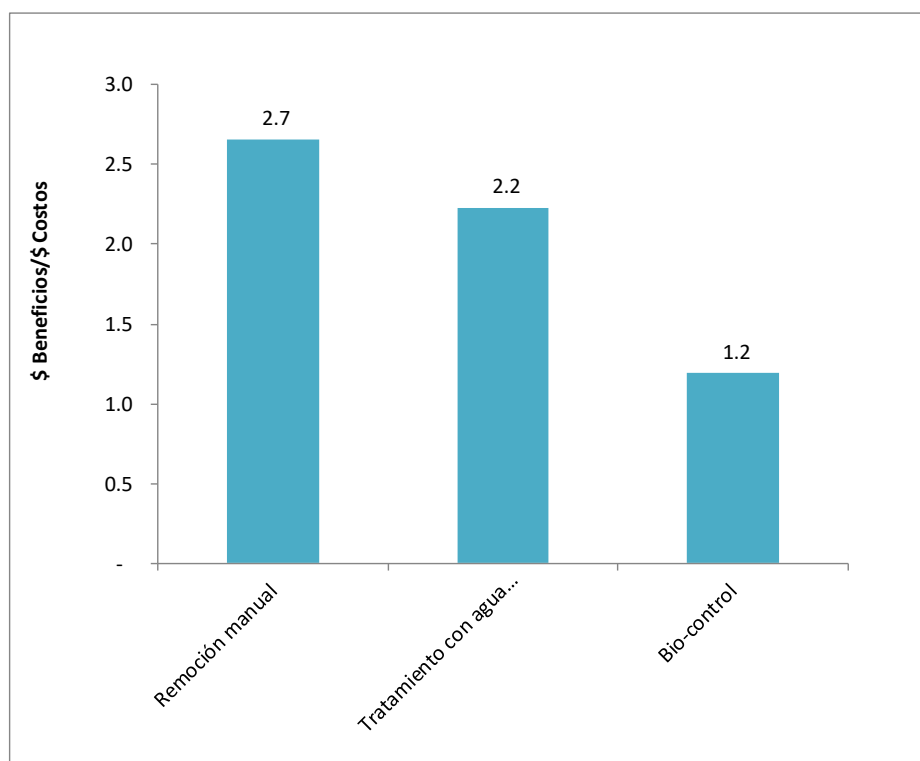


Figura 12. Relación Costo-Beneficio para *Carijoa riisei*.

Tabla 8. Valores unitarios monetizados de beneficios cuantificados y costos del manejo de *Carijoa riisei*.

Categoría Costo/Beneficio	Categoría	Unidad de medida	Valor de unidad (\$/unidad)
Beneficio anual	Biodiversidad	Especies	\$ -
	Calidad del paisaje	Playas	\$ -
	Turismo de buceo	Ingreso mensual	\$ 20,000.00
Costo anual	Labor de extracción	Buceo/día	\$ 300.00
	Manejo de organismos en tierra	Organismo	\$ 60.00
	Bio-control	Organismo	\$ 200.00
	Labor de introducción controles	Buceo/día	\$ 300.00
Costo inicial	Equipo de buceo	Set	\$ 18,000.00
	Mallas para colecta	Pieza	\$ 150.00
	Sistema de cultivo	Set	\$ 100,000.00
	Aplicadores de tratamiento	Pieza	\$ 50.00

Tabla 9. Unidades físicas de beneficios cuantificados y costos de la gestión (período inicial) del coral invasor *Carijoa riisei*.

Categoría Costo/Beneficio	Categoría	No hacer nada	Remoción manual	Tratamiento con agua dulce	Bio-control
Beneficios	Biodiversidad	50	50	50	50
	Calidad del paisaje	5	5	5	5
	Turismo de buceo	3	3	3	3
Costo anual	Labor de extracción	0	432	432	0
	Manejo de organismos en tierra	0	50	0	0
	Bio-control	0	0	0	50
	Labor de introducción controles	0	0	0	432
Costo inicial	Equipo de buceo	0	4	4	4
	Mallas para colecta	0	8	8	0
	Sistema de cultivo	0	0	0	1
	Aplicadores de tratamiento	0	0	10	0

Proyecto GEF-EEI_ Protocolo de detección temprana y respuesta rápida para la atención de invasiones ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei* en Manzanillo.

Tabla 10. Resumen del análisis de costo-beneficio para la gestión del coral invasor *Carijoa riisei* ($r = X\%$, $t = Y$ años). VP = Valor Presente. VPN = Valor Presente Neto.

Opción	VP Costos	VP Beneficios	Total VPN	Relación Costo-Beneficio (RCB)	Rango de opción basado en VPN	Rango de opción basado en RCB
No hacer nada	\$0	\$0	\$0	1.0	4	4
Remoción manual	\$962,957	\$2,556,175	\$1,593,218	2.7	1	1
Tratamiento con agua dulce	\$943,327	\$2,101,969	\$1,158,642	2.2	2	2
Bio-control	\$1,108,727	\$1,320,533	\$211,805	1.2	3	3

Tabla 5. Costo de las acciones por cada actividad (Costos estimados para el primer año).

Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Costo/unidad	Total	Total
Remoción manual					
Labor de extracción	Buceo/día	432	\$300.00	\$129,600.00	\$205,800.00
Equipo de buceo*	Set	4	\$18,000.00	\$72,000.00	
Manejo de organismos en tierra**	Organismo (colonia)	50	\$60.00	\$3,000.00	
Mallas para colecta	Pieza	8	\$150.00	\$1,200.00	
Tratamiento con agua dulce					
Labor de extracción	Buceo/día	432	\$300.00	\$129,600.00	\$203,300.00
Mallas de colecta	Pieza	8	\$150.00	\$1,200.00	
Equipos de buceo*	Set	4	\$18,000.00	\$72,000.00	
Aplicadores de tratamiento	Pieza	10	\$50.00	\$500.00	
Control biológico (Bio-control)					
Bio-control (Nudibranquios)	Organismo	50	\$200.00	\$10,000.00	\$311,600.00
Labor de introducción y monitoreo de controles	Buceo/día	432	\$300.00	\$129,600.00	
Sistema de cultivo de nudibranquios	Sistema completo	1	\$100,000.00	\$100,000.00	
Equipo de buceo*	Set	4	\$18,000.00	\$72,000.00	
Otros materiales y equipos por buzo					

Proyecto GEF-EEI_ Protocolo de detección temprana y respuesta rápida para la atención de invasiones ante la presencia de *Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei* en Manzanillo.

Brújula de buceo	Pieza	1	\$1,500.00	\$1,500.00	
Cámara fotográfica sumergible	Pieza	1	\$7,500.00	\$7,500.00	\$13,700.00
Lámpara de buceo	Pieza	2	\$1,600.00	\$3,200.00	
Set de aletas y visor	Paquete	1	\$1,500.00	\$1,500.00	

*Equipo de buceo incluye el set con BCD (chaleco compensador) y reguladores (primera y segunda etapas).

**El Manejo de organismos en tierra considera materiales como frascos y soluciones para conservar los organismos.

Recomendaciones

Los análisis de costo-beneficio puede ayudar a tomar decisiones sobre diferentes opciones de gestión o control de especies invasoras. Sin embargo, no revela la ruta económicamente óptima (por ejemplo, la cantidad de animales a remover por año a un costo de manejo mínimo) para llevar a cabo el plan de manejo. Por lo tanto, se deben realizar investigaciones adicionales para encontrar estas rutas óptimas utilizando técnicas de programación dinámica (Burnett *et al.*, 2007; Hauser *et al.*, 2007; Leung *et al.*, 2002). Las variables de decisión en el contexto de las Especies Exóticas Invasoras están más fuertemente influenciadas por el área geográfica en la que se lleva a cabo la gestión (Robertson *et al.*, 2015). Estos modelos de programación dinámica permiten la optimización de una función objetivo (por ejemplo, la suma de los costos de administración y daños con descuento) bajo varias restricciones. Como desventaja, estos modelos se vuelven más complejos cuando se trata de comparar diferentes opciones de manejo, o de combinar diferentes opciones de administración en un solo modelo porque los costos y los beneficios difieren según la opción de administración. Sin embargo, permiten optimizar económicamente el enfoque de gestión (Reyns *et al.*, 2018).

Aunque en este caso, la mejor opción es aplicar el Protocolo de detección temprana y respuesta rápida para erradicar a las tres especies en la zona, en otros países se han propuesto varias alternativas de control, como la idea de proporcionar una recompensa económica, lo que proporcionaría un incentivo para la captura y extracción de las estrellas de mar. Por ejemplo, en China, las estrellas de mar se venden en mercados por alrededor de \$1 US cada una. En este sentido, si se llegara a presentar un brote masivo de estrellas de mar, estas podrían secarse y venderse en tiendas como adornos o artículos de decoración (Barkhouse *et al.*, 2007). Sin embargo, esto implica desarrollar una estrategia de mercado que permita evaluar la viabilidad como producto y cuidar que no se afecten otras especies. Otra alternativa es la industria farmacéutica (Verbist, 1993; Gomes *et al.*, 2014). La

investigación sobre compuestos activos presentes en estas especies puede ser otra alternativa al uso de los ejemplares extraídos y generar una industria a nivel local.

Los costos estimados en este estudio pueden variar y ajustarse a diferentes circunstancias. Algunos de los materiales pueden ser utilizados para implementar más de una opción de manejo y con esto reducir gastos considerablemente. La implementación de cualquiera de las estrategias de manejo propuestas en este documento no se ha realizado en nuestro país, sin embargo, experiencias en otros países proporcionan información base para el desarrollo de un manejo exitoso. Seguir con la generación de información a partir de investigaciones científicas permitirá que las estrategias de control o erradicación sean más efectivas.

Los resultados del presente estudio de costo-beneficio deben tomarse con reservas ya que no existe información base o esta es muy escasa sobre las poblaciones naturales de estas tres especies (*Astropecten polyacanthus*, *Luidia magnifica* y *Carijoa riisei*). Para los casos de las dos estrellas de mar, se utilizó información de referencia de otras especies del mismo género, con el objetivo de tener un marco de referencia para los cálculos requeridos en el análisis (Halpern, 1970; Lawrence & Dehn, 1979; Freeman *et al.*, 2001; Guilherme & Rosa, 2014; Baeta *et al.*, 2016). En el caso del octocoral se tomó como referencia la información obtenida de estudios realizados en Colombia (Invemar, 2014; 2016). Debido a lo anterior es de suma importancia contar con información biológica básica de las especies y la dinámica real de sus poblaciones para tomar buenas decisiones.

Bibliografía

- Baeta, M., Galimany, E. & Ramón, M.** 2016. Growth and reproductive biology of the sea star *Astropecten aranciatus* (Echinodermata, Asteroidea) on the continental shelf of the Catalan Sea (northwestern Mediterranean). *Helgoland Marine Research* 70: 1-13.
- Barkhouse, C., Niles, M. & Davidson, L. A.** 2007. A literature review of sea star control methods for bottom and off bottom shellfish cultures. Canadian Industry Report of Fisheries and Aquatic Sciences 279: vii + 38 pp.
- Bellard, C., Cassey, P. & Blackburn, T. M.** 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters* 12. Article 20150623.
- Burnett, K. M., Kaiser, B. A. & Roumasset, J. A.** 2007. Invasive species control over space and time: *Miconia calvenscens* on Oahu, Hawaii. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 39: 125-132.
- Emerton, L. & Howard, G.** 2008. A toolkit for the economic analysis of invasive species. Global Invasive Species Programme, Nairobi.
- 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.
- Gomes, A. R., Freitas, A. C., Rocha-Santos, T. A. P. & Duarte, A. C.** 2014. Bioactive compounds derived from echinoderms. *RSC Advances* 4: 29365-29382.
- Guilherme, P. D. B. & Rosa, L. C.** 2014. Seasonal variation in body size and diet of the sea star *Astropecten marginatus* (Paxillosida, Astropectinidae) off coast of Paraná, Southern Brazil. *Revista de Biología Tropical* 62(1): 59-68.
- Halpern, J. A.** 1970. Growth rate of the tropical sea star *Luidia senegalensis* (Lamarck). *Bulletin of Marine Science* 20(3): 626-633.
- Hauser, C., Runge, M., Cooch, E., Johnson, F. A. & Harvey, W. F.** 2007. Optimal control of Atlantic population Canada geese. *Ecological Modelling* 201: 27-36.
- 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.
- Kettunen, M., Genovesi, P., Gollasch, S., Pagad, S., Starfinger, U., Brink, P. & Shine, C.** 2008. Technical support to EU strategy on invasive species (IAS)—assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU (Final module report for the European Commission) Institute for European Environmental Policy (IEEP); Brussels.
- Lawrence, J. M. & Dehn, P. F.** 1979. Biological characteristics of *Luidia clathrate* (Echinodermata: Asteroidea) from Tampa Bay and the shallow waters of the Gulf of Mexico. *Florida Scientist* 42(1): 9-13.

- Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, D., Shogren, J. F., Lewis, M. A. & Lamberti, G.** 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 269: 2407-2413.
- Parpal-Servole, J., Saad-Alvarado, L. & Born-Schmidt, G.** 2017. Mecanismos económicos para la atención de especies exóticas invasoras en México. pp: 183-208. En: Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras. Born-Schmidt, G., de Alba, F., Parpal, J. & Koleff, P. (Coord.). Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP).
- Reyns, N., Casaer, J., De Smet, L., Devos, K., Huysentruyt, F., Robertson, P. A., Verbeke, T. & Adriaens, T.** 2018. Cost-benefit analysis for invasive species control: the case of greater Canada goose *Branta canadensis* in Flanders (northern Belgium). *PeerJ* 6: e4283.
- Robertson, P. A., Adriaens, T., Caizergues, A., Cranswick, P. A., Devos, K., Gutiérrez-Expósito, C., Henderson, I., Hughes, B., Mill, A. C. & Smith, G. C.** 2015. Towards the European eradication of the North American ruddy duck. *Biological Invasions* 17(1): 9-12.
- Scalera, R.** 2010. How much is Europe spending on invasive alien species? *Biological Invasions* 12: 173-177.
- Schultz, S. T., Goddard, J. H. R., Gosliner, T. M., Mason, D. E., Pence, W. E., McDonald, G. R., Pearse, V. B. & Pearse, J. S.** 2011. Climate-index response profiling indicates larval transport is driving population fluctuations in nudibranch gastropods from the northeast Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 56(2): 749-763.
- Verbist, J. F.** 1993. Pharmacological effects of compounds from echinoderms. En: Echinoderm Studies. Jangoux, M. & Lawrence, J. M. (Eds). A. A. Balkema: Rotterdam, Netherlands.
- 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* 372: 64-74.
- Williams, F., Eschen, R., Harris, A., Djeddour, D., Pratt, C., Shaw, R. S., Varia, S., Lamontagne-Godwin, J., Thomas, S. E. & Murphy, S. T.** 2010. The economic cost of invasive non-native species on Great Britain. CABI Project No. VM10066. CABI Europe; Egham.