

# Indicadores de sostenibilidad para la evaluación de las pesquerías de pepino de mar en la península de Yucatán, México

Alicia Poot-Salazar<sup>\*,\*\*</sup>, Álvaro Hernández-Flores<sup>\*\*\*</sup> y Pedro-Luis Ardisson<sup>\*\*</sup>

Se evalúa el estado de las pesquerías de pepino de mar en la península de Yucatán con tres grupos de indicadores, utilizando información de campo independiente de la pesquería y de la pesca comercial de 2013, así como datos de la pesca de fomento de 2012. Se analiza su sostenibilidad como sistema socio-ecológico con un marco de trabajo que incluye indicadores de sostenibilidad, entre ellos, el estado de la pesquería. Los resultados obtenidos demostraron que los stocks de la especie de pepino de mar *Isostichopus badionotus* en Yucatán se han sobreexplotado, mientras que el de *Holothuria floridana* en la localidad de Isla Arena, Campeche, está aún en buen estado. El análisis socio-ecológico reveló que la captura ilegal y la débil gobernanza regional están propiciando la sobreexplotación del recurso, principalmente en Yucatán sobre la especie *I. badionotus*, por lo que se propone un cambio en la estrategia de manejo: se recomienda modificar los puntos de referencia establecidos por el INAPESCA y fomentar la auto-gobernanza de las comunidades pesqueras.

**Palabras clave:** *Isostichopus badionotus*, indicadores, sostenibilidad, sistema socio-ecológico, sobreexplotación.

## Sustainability indicators for the evaluation of sea cucumber fisheries status of the Yucatan peninsula, Mexico

The status of the sea cucumber fisheries of the Yucatan peninsula was evaluated with three indicator groups: independent data of the fishery (2013), of exploratory fishery (2012) and of commercial fishery (2013). Sustainability of this fishery was analyzed as a social-ecological system using a framework with sustainability indicators, which include the status of the fishery. Results showed that stocks of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* from Yucatan are over exploited, while the status of the *Holothuria floridana* species stock from Isla Arena, Campeche is good. Social-ecological analyses showed that both the illegal catch and weak governance are accelerating over-exploitation of the sea cucumber fishery, principally of *I. badionotus* species from Yucatan. Therefore, changes in management strategy are suggested. It is recommended to modify the reference points proposed by INAPESCA, as well as promoting fishing communities' self-governance..

**Key words:** *Isostichopus badionotus*, indicators, sustainability, social-ecological system, over exploitation.

## Introducción

En el mundo se explotan alrededor de 66 especies de pepino de mar (Purcell *et al.* 2010) con una alarmante tendencia hacia la sobre explotación y el agotamiento (20% de las pesquerías de

pepino de mar en el mundo está agotado, 38% sobreexplotado, 15% totalmente explotado sin potencial de expansión y únicamente 27% está subexplotado o moderadamente explotado) (Purcell *et al.* 2013).

Según Anderson *et al.* (2011), las pesquerías de pepino de mar de todo el mundo, a diferencia de otras, presentan un patrón de pesca insostenible debido a que se desarrollan con tanta rapidez que superan la capacidad de los gobiernos para generar estrategias de manejo eficientes. Purcell *et al.* (2010) recomiendan que, al ser sistemas complejos e impredecibles, el manejo de este tipo de pesquerías debe considerar las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica, ambiental e institucional.

\* Centro Regional de Investigación Pesquera - Yucalpetén. Instituto Nacional de Pesca, SAGARPA. A.P. 73 Puerto de Abrigo Yucalpetén, CP 97320 Progreso, Yucatán, México. [alipootsalazar@gmail.com](mailto:alipootsalazar@gmail.com)

\*\* Laboratorio de Bentos, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. A.P. 73 Cordemex, CP 97310 Mérida, Yucatán, México.

\*\*\* Universidad Marista de Mérida. Periférico norte Tablaje Catastral 13941, Ejido de Chuburná, CP 97300 Mérida, Yucatán, México.

El primer paso para lograr la sostenibilidad de una pesquería, cualquiera que ésta sea, es generar un grupo de indicadores potenciales que proporcionen un panorama adecuado del estado del *stock* (Rice y Rochet 2005). Posteriormente, se procede a analizar los indicadores en un sistema socio-ecológico, que permiten detectar las fallas de manejo y proponer cambios para lograr la sostenibilidad.

La evaluación del desempeño de las políticas de ordenamiento se ve facilitada por la comprensión de la situación que guardan en un momento dado los recursos y la actividad pesquera, mediante el estudio de las tendencias de los indicadores con relación a los objetivos de desarrollo sostenible (FAO 2000). Por lo anterior, es esencial seleccionar los indicadores apropiados, siendo éste el punto de partida para la recolecta de datos y el diseño de la información que estará disponible para los administradores de las pesquerías en el análisis y la toma de decisiones (Martins *et al.* 2012).

Los indicadores de sostenibilidad en una pesquería deben medir características o procesos del sistema humano-ambiente, para asegurar su continuidad y su funcionalidad en el futuro (Bell y Morse 2008). Para analizar el avance hacia la sostenibilidad y los obstáculos, así como para ser de utilidad en la toma de decisiones, el grupo de indicadores de sostenibilidad debe presentarse en un marco conceptual que facilite su comprensión por parte de todos los involucrados (Hák *et al.* 2007). El manejo de las pesquerías debe considerar un marco de trabajo conceptual en las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible. En cada dimensión se deben definir varios criterios para la selección de objetivos, indicadores y puntos de referencia (FAO 2000), pudiendo ser estos últimos, puntos de referencia objetivos (PRO) o puntos de referencia límites (PRL) (Caddy y Mahon 1996).

Estudios recientes han demostrado que es posible lograr la sostenibilidad de los recursos pesqueros por medio del co-manejo (Gutiérrez *et al.* 2011). De acuerdo con Ostrom (2009), los usuarios de un sistema continuarán cosechando las unidades del recurso, sin intentar auto-organizarse, a menos que perciban que los beneficios de un cambio en las reglas son mayores que los costos de cambiarlas.

En el Golfo de México, específicamente en la plataforma continental de los estados de Yucatán y Campeche, se han identificado más de 14 especies de pepino de mar, aunque seis son las más comunes: *Isostichopus badiotus* (Selenka 1867), *Holothuria floridana* (Pourtalès 1851), *Holothuria mexicana* (Ludwig 1875), *Holothuria grisea* (Selenka 1867), *Holothuria surinamensis* (Ludwig 1875) y *Astichopus multifidus* (Sluiter 1910) (Zetina-Moguel *et al.* 2003, Ramos *et al.* 2012<sup>1</sup>), siendo las dos primeras, las de mayor importancia comercial. En la actualidad, para apoyar el manejo de las pesquerías de *I. badiotus* y *H. floridana*, el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) propone PRL de densidad, biomasa y tallas mínimas para lograr que las poblaciones silvestres soporten una captura sostenible. En el presente trabajo se evalúa el estado de las pesquerías de pepino de mar en la península de Yucatán, con la ayuda de tres grupos de indicadores y se analiza la posibilidad de ser sostenible como sistema socio-ecológico. Se proponen estrategias para su conservación y su manejo.

## Materiales y métodos

### Indicadores para conocer el estado de la pesquería

Se analizó el estado actual de la pesquería de pepino de mar en la península de Yucatán con base en tres grupos de indicadores:

#### Grupo 1. Indicadores biológicos del INAPESCA (DOF 2015a)

1. *Densidad promedio* en los bancos de pesca (grandes extensiones hasta de cientos de hectáreas en el fondo marino con presencia de organismos) (Uthicke *et al.* 2004, Skewes *et al.* 2006, Friedman *et al.* 2008, Purcell *et al.* 2009, 2010). La densidad es un factor que determina el éxito reproductivo de la especie. El monitoreo de este indicador permite

1. Ramos J, D Flores-Hernández, EF Flores-Ramos, D Pech, JL Soto, FS Solís, L Ayala, R del Río, J Rendon, M Pacheco, F Can, A Duarte y F Aguilar. 2012. El pepino de mar (*H. floridana*) en las costas de Campeche. Informe final. Instituto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. 79p.

evaluar los cambios que sufre el *stock*. Se utilizó un punto de referencia límite de  $0.025 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , establecido de manera práctica con base en 50% de los valores máximos de la serie histórica (De Anda *et al.* 2010<sup>2</sup>, Zetina-Moguel 2010<sup>3</sup>, Poot-Salazar *et al.* 2014a).

2. *Biomasa* en un banco de pesca, definiendo banco como un área de agregación del recurso cuyos límites se determinan de acuerdo con su densidad y su distribución espacial (De Anda *et al.* 2010<sup>2</sup>). La estimación de la biomasa se obtiene a partir del dato del peso entero fresco de los organismos por arriba de la talla de primera madurez sexual y se expresa en toneladas por banco. El punto de referencia límite para este indicador es 3 000 t por banco y se determinó con base en un análisis de rentabilidad para el productor, relacionado con el número de usuarios que participan de manera legal en la pesquería. Para que una embarcación se mantenga operando en la actividad, se requiere que al menos cubra los costos de operación, determinados en gran parte por el consumo de combustible para desplazarse a los sitios de pesca. En caso contrario, la pesquería seguiría siendo rentable sólo para un grupo menor de productores (Hernández-Flores *com. pers.*), lo cual no es congruente con el principio de equidad social.
3. *Talla promedio* del *stock* en un banco. Este indicador se obtiene del análisis de la estructura de tallas de los organismos recolectados y medidos a lo largo de una red de estaciones. El punto de referencia es que al menos 50% de la población muestreada debe tener una talla igual o superior a la de primera madurez sexual de cada especie, que es de 23 cm de longitud estimada (del largo y an-

cho dorsal del cuerpo de acuerdo con Poot-Salazar *et al.* 2014b) para *I. badionotus* y 13 cm de longitud total en estado de relajación para *H. floridana* (Ramos *et al.* 2012<sup>1</sup>).

De acuerdo con estos tres indicadores, los bancos de pepino de mar en estado saludable y con potencial para la pesca deben tener valores de densidad, biomasa y talla promedio por arriba de una densidad  $\geq 0.025 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , biomasa  $\geq 3\ 000 \text{ t}$  por banco y talla promedio de los organismos  $\geq 23 \text{ cm}$  para *I. badionotus* y  $\geq 13 \text{ cm}$  para *H. floridana* (DOF 2015a).

#### Grupo 2. Indicadores de Friedman *et al.* (2008)

1. Presencia de grupos de pepino de mar adultos cerca de las áreas de pesca. Los datos se pueden obtener de monitoreo *in situ* por medio de transectos, o bien, de entrevistas a los pescadores.
2. Se usan los métodos tradicionales para recolectar pepinos de mar. La información se obtiene de observar el tipo de artes de pesca y el tipo de embarcaciones de los pescadores, así como la potencia de los motores.
3. Abundancia estable de pepinos de mar en la pesquería a lo largo de los años. Se obtiene del registro de los exportadores y/o entrevistas con los pescadores. También se pueden comparar resultados actuales de evaluaciones *in situ*, con los de las realizadas en años pasados.
4. Especies de alto y mediano valores aún son abundantes en las zonas de pesca y están bien representadas en las capturas. Esta información se obtiene al revisar la composición y la abundancia relativa de las especies en las capturas.
5. Aún se capturan pepinos de mar de tallas grandes, por lo que se produce y se exporta principalmente *bêche-de-mer* de calidad tipo “A” (pepinos de mar procesados hasta su estado seco-salado de la mejor calidad). Se determina este indicador a partir de los registros de exportación, para conocer si hay disminución en la proporción del producto de calidad “A”, o bien, obtener la talla promedio de cada especie en las capturas representativas cada año y determinar las tendencias.

- 
2. De Anda D, A Hernández-Flores, JC Espinoza, K Cervera, G Galindo, E Cob, M Seca y M Medina. 2010. Bases biológicas para la asignación de cuotas de captura de pepino de mar en el litoral de la Península de Yucatán. Informe de investigación (Documento interno). CRIP-Yucalpetén y CRIP-Lerma. Instituto Nacional de Pesca. 24p.
  3. Zetina-Moguel C. 2010. Biomasa estimada de pepino de mar (*Isostichopus badionotus*) en el área Y1 del Estado de Yucatán. Informe técnico del permiso de pesca de fomento No. DGOPA.05056.290110.-3031. de la SCPP “Nohoch Cuch” SC de RL. 13p.

6. La mayor cantidad de ingresos generados por este recurso se queda en las comunidades pesqueras. Para conocer esta información se tiene que conocer dónde se procesan los pepinos de mar, mantener un registro de los pescadores que capturan el recurso y cuántas personas participan en la pesquería. También es importante contactar a los procesadores y saber si el producto se vende fresco, salado o seco-salado. Este indicador se complementa mediante cuestionarios y entrevistas para determinar qué proporción de los ingresos del producto procesado llega a los pescadores y cuánto a los procesadores y exportadores.

Para evaluar una pesquería de pepino de mar de acuerdo con estos seis indicadores, se califica individualmente cada uno de ellos con tres posibles respuestas: 1) positivo, 2) negativo y 3) sin información disponible. Posteriormente se contabilizan y se aplica el siguiente criterio:

- a) Mayor número de respuestas positivas. El estado del *stock* es bueno y no se requieren acciones drásticas.
- b) Mayor número de respuestas negativas. Los *stocks* están severamente agotados y se requieren acciones fuertes e inmediatas.
- c) Mayor número de respuestas sin información disponible. Se requieren acciones inmediatas.

#### Grupo 3. Indicadores simples de Froese (2004)

1. Dejar que los organismos desoven (100% de los capturados debieron haber desovado al menos una vez). Porcentaje de especímenes maduros en las capturas. El objetivo de este indicador es dejar que todos los pepinos de mar desoven al menos una vez antes de que sean capturados.
2. Dejar que los organismos crezcan (la captura en su totalidad debe estar constituida por organismos de tallas tales que hayan alcanzado su rendimiento máximo). Porcentaje de especímenes de longitud óptima capturados, *i.e.*, longitud a la que el número de individuos de cierta clase de edad no capturada, multiplicada por su peso individual promedio, es máximo y de donde, en consecuencia, se obtienen los mayores ingresos y la máxi-

ma cosecha. El objetivo de este indicador es capturar todos los organismos que se tengan  $\pm 10\%$  en la longitud óptima.

3. Dejar que vivan los mega-reproductores (no se debe capturar ninguno de ellos). Porcentaje de especímenes de talla mayor que los que son 10% mayores que la longitud óptima. El objetivo es instrumentar una estrategia pesquera que evite la captura de los mega-reproductores. Si no existe tal estrategia, en su lugar se pueden revisar las capturas que reflejen la estructura de tallas y la edad del *stock*, valores de 30% a 40% de mega-reproductores representan una estructura de edad saludable, mientras que menos de 20% sería motivo de preocupación.

Para evaluar la pesquería de *I. badionotus* con este grupo de indicadores, se utilizó una longitud de primera madurez  $L_m = 23$  cm, una longitud óptima  $L_{opt} = 27.7$  cm y una longitud máxima  $L_{m\acute{a}x} = 30.8$  cm (longitudes estimadas de acuerdo con Poot-Salazar *et al.* 2014b y Poot-Salazar 2015). Para evaluar la pesquería de *H. floridana*, se utilizó una  $L_m = 13$  cm, una  $L_{opt} = 20.2$  cm y una  $L_{m\acute{a}x} = 40.5$  cm, las longitudes de esta especie se relacionan con la longitud total en estado relajado, de acuerdo con Ramos *et al.* (2012<sup>1</sup>).

Primero se analizó la pesquería con los grupos de indicadores uno y dos, utilizando la información disponible sobre el recurso (Ardisson *et al.* 2012<sup>4</sup>) y los resultados de las evaluaciones independientes de la pesquería, obtenidos por el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) en Yucalpetén (Poot-Salazar *et al.* 2013<sup>5</sup>). Para *I. badionotus* se utilizó la zonificación del estado de Yucatán establecida en el plan de manejo pesquero de pepino de mar en la península de Yucatán (DOF 2015a), refiriéndose en este

4. Ardisson PL, A Hernández-Flores, JC Espinoza, C Gutiérrez, E. Poot, IN Caro, AI Gutiérrez, IC Hernández, IA Guzmán, MM Landero y A Poot-Salazar. 2012. Análisis integral del recurso pepino de mar en la península de Yucatán para asistir la concertación del Programa de Ordenamiento en la región. Informe final. INAPESCA-CINVESTAV. 184p.
5. Poot-Salazar A, A Hernández-Flores, JC Espinoza, E Cob, R Mena, K Cervera, D De Anda, ED Cervera, J Águila y HA Quijano. 2013. Análisis y manejo de los stocks de pepino de mar en la Península de Yucatán. Informe de investigación (Documento interno). CRIP-Yucalpetén y CRIP-Lerma. Instituto Nacional de Pesca. 74p.

caso, a las zonas como áreas (Fig. 1); mientras que para *H. floridana* se utilizó la información correspondiente a la localidad de Isla Arena, junto al área IV, en el estado de Campeche.

Posteriormente, se utilizó el tercer grupo de indicadores para analizar la estructura de tallas de 365 individuos de la especie *H. floridana* y 745 de la especie *I. badiotus*, procedentes de las capturas de la temporada de pesca de fomento 2012 y de la segunda temporada de pesca comercial 2013, respectivamente.

#### Indicadores para analizar la sostenibilidad

De acuerdo con Ostrom (2009), todos los recursos naturales que son utilizados por los humanos pueden verse como un Sistema Socio-Ecológico (SSE), compuesto por múltiples subsistemas y variables en éstos. En este trabajo se consideran

los siguientes subsistemas: sistema de recursos (la pesquería de pepino de mar), unidades de recurso (pepinos de mar) y los usuarios (los pescadores).

Finalmente, la sostenibilidad de la pesquería se analizó en el marco de trabajo diseñado por Ostrom (2009), utilizando los diez principales indicadores o variables que ella propone para estudiar la probabilidad de auto-organización de los usuarios en el manejo de un recurso. En cada variable se consideraron tres atributos, a los que se les asignaron valores de cero, uno y dos. El menor valor (0) representa el nivel menos deseable y el máximo valor (dos), el nivel más deseable de cada atributo (Tabla 1).

Las variables utilizadas se interpretan como sigue:

1. Dimensiones del sistema de recurso. Los atributos de esta variable se establecieron

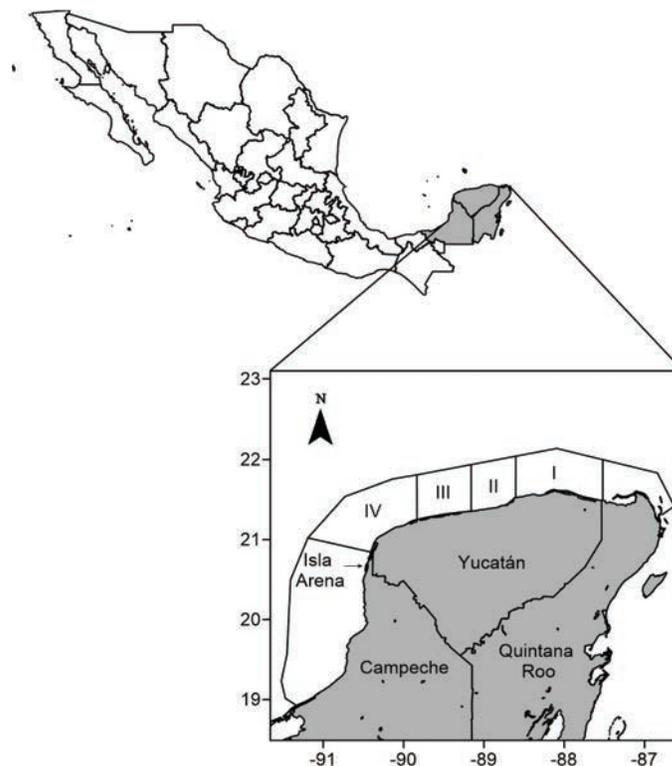


Fig. 1. Áreas de pesca de las especies de pepino de mar *Isostichopus badiotus* (áreas I-IV) y *Holothuria floridana* (Isla Arena) en la península de Yucatán. Áreas I y II: incluyen las localidades de Río Lagartos, San Felipe y Dzilam de Bravo; área III: incluye las localidades de San Crisanto, Telchac, Progreso y Chuburná; área IV: incluye las localidades de Celestún y Sisal. Mapa modificado del plan de manejo pesquero de pepino de mar en la península de Yucatán (DOF 2015a).

Tabla 1

Principales variables propuestas por Ostrom (2009) para analizar los sistemas socio-ecológicos. El valor cero representa el nivel menos deseable de un atributo y el valor dos representa el nivel más deseable

<i>Variables o indicadores</i>	<i>Atributos de las variables</i>		
<b>Sistema de recursos</b>			
1. Dimensiones del sistema de recursos	Muy extenso = 0	Extenso = 1	Medio = 2
2. Productividad del sistema	Agotado = 0	Sobreexplotado = 1	Saludable = 2
3. Predictibilidad de la dinámica del sistema	Bajo = 0	Medio = 1	Alto = 2
<b>Usuarios</b>			
4. Número de usuarios	Bajo = 0	Medio = 1	Alto = 2
5. Desarrollo de liderazgo local	Bajo = 0	Medio = 1	Alto = 2
6. Normas/Capital social	Bajo = 0	Medio = 1	Alto = 2
7. Conocimiento de los sistemas socio-ecológicos/ modelos mentales	Nada = 0	Poco = 1	Suficiente = 2
8. Importancia del recurso	Baja = 0	Media = 1	Alta = 2
<b>Sistemas de gobernanza</b>			
9. Reglas de elección colectiva	Baja = 0	Media = 1	Alta = 2
<b>Unidades del recurso</b>			
10. Movilidad de unidades de recurso	Altamente móvil = 0	Móvil = 1	Sedentario = 2

- de acuerdo con el área de distribución del recurso, en donde una o dos comunidades participan en la captura de pepino de mar. Se consideró como una dimensión media, un área de entre 15-50 ha; como extensa, una de 55-150 ha; y como muy extensa, una de 200-335 ha o más.
- Productividad del sistema. Los atributos fueron el resultado del análisis del estado de la pesquería realizado con los grupos de indicadores de la sección anterior.
  - La predictibilidad de la dinámica del sistema. Se refiere a la capacidad de evaluar el recurso y determinar si los cambios se deben a la pesca o a un evento natural (como marea roja, norte o huracán).
  - El número de usuarios. Se refiere al número de permisos de pepino de mar en comparación con el de solicitudes. Se consideró como un atributo bajo cuando el número de permisos fue <40% de las solicitudes, medio cuando el número de permisos solicitados fue  $\geq 40\%$  y  $\leq 60\%$  de los permisos aprobados y alto cuando  $> 60\%$  de los usuarios recibió un permiso.
  - El desarrollo de liderazgos locales. Se refiere a otras formas de organización y si existe o no un fuerte liderazgo, donde los líderes son respetados y reconocidos en la comunidad.
  - Las normas/capital social. Los usuarios comparten normas entre ellos y confían unos en los otros para mantener los acuerdos y ser recíprocos.
  - El conocimiento de los sistemas socio-ecológicos. Los usuarios tienen conocimiento de cómo operan tales sistemas.
  - La importancia del recurso. Los usuarios obtienen la mayor parte de sus ingresos de la pesca de pepino de mar.
  - Las reglas de elección colectiva. Los usuarios tienen autonomía para crear sus propias reglas y la legislación nacional legitima formalmente la autogestión local.
  - Movilidad del recurso. El recurso (pepino de mar) es móvil o estacionario.
- La probabilidad de auto-organización fue calculada dividiendo la suma de los valores de la condición actual entre la de los valores de la condición deseada (todas las variables con atributos de valor dos).

## Resultados

### Estado actual de la pesquería

#### Grupo 1 de indicadores:

Al evaluar la pesquería durante 2013 con los indicadores biológicos, se encontró que las áreas I y II fueron las únicas con valores cuyos indicadores de densidad, biomasa y talla promedio del pepino de mar *I. badionotus* estaban por arriba de los PRL (Tabla 2). Sin embargo, el porcentaje de organismos por arriba de 23 cm de longitud estimada fue de únicamente 75%, lo que indica que para ese momento la captura había afectado a 25% de individuos juveniles. En el área III, la talla promedio fue el único indicador por arriba del PRL con 69.4% de los individuos por arriba de dicha talla. En el área IV, que incluye a las localidades de Sisal y Celestún, la densidad y la biomasa del pepino de mar *I. badionotus*, estuvieron por debajo de sus PRL, pero 98% de los individuos presentó tallas mayores a la de primera madurez sexual. Finalmente, frente a la localidad de Isla Arena, Campeche, con el pepino de mar *H. floridana*, la biomasa fue el único indicador que no alcanzó el PRL, mientras que 92% de los organismos estuvo por arriba de la talla de primera madurez sexual y las densidades por arriba de 0.025 ind · m<sup>-2</sup>.

**Tabla 2**

Evaluación del recurso pepino de mar en la península de Yucatán en 2013, utilizando los indicadores diseñados por el INAPESCA. La especie objetivo en las áreas I-IV es *Isostichopus badionotus*, y en Isla Arena es *Holothuria floridana*

Indicador	Áreas I y II	Área III	Área IV	Isla Arena
1	0.072	0.016	0.020	0.079
2	14 025	408	711	2 413
3	25.6	24.8	30.9	18.4
Potencial para la pesca	Sí	No	No	No

1. El grado de densidad en los bancos de pesca debe garantizar el éxito en la reproducción. PRL: 0.025 individuos · m<sup>-2</sup>.
2. El nivel de biomasa en un banco de pesca debe ser rentable. PRL: 3 000 t.
3. Talla promedio por arriba de la primera madurez sexual. PRL: 23 cm para *I. badionotus* y 13 cm para *H. floridana*. Áreas I y II: Río Lagartos, San Felipe y Dzilam de Bravo; Área III: San Crisanto, Telchac, Progreso y Chuburná; Área-IV: Celestún y Sisal.

#### Grupo 2 de indicadores:

La respuesta al primer indicador de Friedman *et al.* (2008) fue positiva en todas las áreas, debido a que en las evaluaciones realizadas en 2013 (Poot-Salazar *et al.* 2013<sup>5</sup>), más de 50% de individuos estuvo por arriba de la talla de primera madurez sexual (Tabla 3).

**Tabla 3**

Evaluación de la pesquería de pepino de mar en la península de Yucatán por zona de pesca en 2013, utilizando los indicadores de Friedman *et al.* (2008). La especie objetivo en las áreas I-IV es *Isostichopus badionotus*, y en Isla Arena es *Holothuria floridana*

Indicador	Áreas I y II	Área III	Área IV	Isla Arena
1	+	+	+	+
2	+	-	-	+
3	+	-	-	-
4	+	+	-	+
5	+	+	+	+
6	-	-	-	-

Estado del recurso	Bueno	Intermedio	Agotado	Bueno
--------------------	-------	------------	---------	-------

1. Presencia de áreas con grupos de pepinos de mar adultos cerca de las zonas de pesca.
2. Pesca de pequeña escala que utiliza métodos tradicionales para coleccionar pepinos de mar.
3. La abundancia de pepinos de mar en la pesquería es estable con el paso de los años.
4. Las especies de alto y mediano valores son todavía abundantes en las zonas de pesca y están bien representadas en las capturas.
5. Aún se capturan pepinos de mar de gran tamaño, por lo que se produce y se exporta principalmente bêche-de-mer de calidad tipo "A" (pepinos de mar procesados hasta su estado seco-salado de la mejor calidad).
6. La mayor cantidad de ingresos generados por este recurso se queda principalmente en las comunidades pesqueras. Áreas I y II: incluyen las localidades de Río Lagartos, San Felipe y Dzilam de Bravo; Área III: incluye las localidades de San Crisanto, Telchac, Progreso y Chuburná; Área IV: incluye las localidades de Celestún y Sisal.

La respuesta al segundo indicador de este grupo fue negativa en las áreas III y IV, porque del año 2010 al 2013 ocurrieron cambios en la potencia de los motores fuera de borda (de 75 y 80 HP a 95 y 125 HP), lo que ha permitido el acceso de los pescadores a zonas más lejanas y más profundas que sus sitios de pesca tradicionales. Actualmente, en el área IV también se ha incrementado el número de embarcaciones ilegales de mayor tamaño y con motores de mayor potencia para recolectar los pepinos de mar que están en sitios más profundos, llegando a profundidades mayores

a 29 m, en comparación con los años 2010 y 2011, cuando era posible encontrar densidades mayores a  $0.025 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$  desde los 10 m de profundidad (De Anda *et al.* 2010<sup>2</sup>).

La respuesta al tercer indicador se debe a que las densidades en las áreas III, IV y frente a Isla Arena, se han reducido aproximadamente de 60% a 80% desde el año 2010 a la fecha. El banco de pepinos de mar de las áreas I y II es de reciente formación y por ello aún se encuentran sitios con altas densidades ( $>0.025 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Hasta el momento, las especies *I. badionotus* y *H. floridana* están bien representadas en sus hábitats naturales (indicador 4); sin embargo, durante la pesca de fomento del año 2012, a diferencia de los años 2010 y 2011, algunos pescadores del poblado de Celestún optaron por capturar *H. floridana*, e invadieron el territorio de Isla Arena. Esta situación se presentó debido a que las capturas de *I. badionotus* en los sitios más someros, disminuyeron. Por esta razón, este indicador fue considerado como negativo en el área IV. A la fecha, aún se capturan pepinos de tallas grandes, lo que permite obtener un producto de la mejor calidad (indicador 5); sin embargo, el problema radica en que la cantidad sobrepasa la capacidad de procesamiento y el resultado final es un producto de mediana a baja calidad.

La respuesta al sexto indicador fue negativa en todos los casos, porque aunque la pesquería de pepino de mar en la península de Yucatán puede generar mayores beneficios económicos que otras pesquerías, la mayor cantidad de ingresos que genera este recurso no se está quedando en las comunidades pesqueras. El producto seco de *I. badionotus* de la mejor calidad (tipo “A”) llega a tener un precio máximo de  $\text{US\$ } 402 \cdot \text{kg}^{-1}$  en los mercados de Hong Kong (Purcell *et al.* 2014), lo que significa que su valor puede incrementar cinco veces más respecto al que las comunidades pesqueras de Yucatán tienen en salmuera, y casi diez veces más, respecto a su valor a pie de playa. Lo mismo sucede con la especie *H. floridana*, que en su calidad tipo “A” puede llegar a ser en los mercados de Hong Kong, casi cuatro veces mayor respecto al precio en estado de salmuera y ocho veces mayor respecto al precio a pie de playa (Tabla 4).

Los resultados de la evaluación con los indicadores de Froese (2004) de la captura de 745 individuos de *I. badionotus* medidos en diciembre de 2013 (segunda temporada de pesca comercial en Yucatán), mostraron que se capturó 86% de individuos maduros, 51% dentro del intervalo de la longitud óptima de captura y sólo 0.13% de mega-reproductores (Fig. 2).

**Tabla 4**  
Precios que pueden alcanzar las principales especies de pepino de mar de la península de Yucatán en los mercados de Hong Kong, así como en las comunidades pesqueras

	<i>Isostichopus badionotus</i>		<i>Holothuria floridana</i>	
	Precio ( $\text{US\$ kg}^{-1}$ )	Equivalencias (kg)	Precio ( $\text{US\$ kg}^{-1}$ )	Equivalencias (kg)
Seco de Calidad “A” (Hong Kong)	402	1	106	1
Salado o en salmuera (comunidades pesqueras)	21.0	3.0	10.3	2.6
Fresco eviscerado (comunidades pesqueras)	3.0	14.0	-	9.8
Fresco entero (comunidades pesqueras)	1.5	21.0	0.61	20.0

Los precios en Hong Kong se obtuvieron de Purcell *et al.* (2012) y Purcell *et al.* (2014). Los precios en estado de salmuera y fresco, así como las equivalencias, se obtuvieron del DOF (2015a) y Poot-Salazar *et al.* (2011<sup>6</sup> y 2012<sup>7</sup>). Calidad tipo “A” (pepinos de mar procesados hasta su estado seco-salado de la mejor calidad).

- Poot-Salazar A, E Poot, IN Caro y DA Poot. 2011. El recurso Pepino de Mar en Isla Arena, Campeche. Pesca de fomento 2011. Reporte técnico de los permisos de pesca de fomento No. DGOPA.02137.280311.-0691 y DGOPA.02136.280311.-0690 de las Sociedades Cooperativas Kan Balam SC de RL de CV, Pescadores de Eben Ezer SC de RL de CV y Pescadores del Cojol SC de RL de CV.
- Poot-Salazar A, E Poot, DA Poot, IN Caro y JM Camacho. 2012. Pesca del pepino de mar en Celestún, Yucatán e Isla Arena Campeche. Temporada de Fomento 2012. Reporte técnico de los permisos de pesca de fomento de 23 Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera en Celestún, Yucatán y 3 Sociedades Cooperativas en Isla Arena, Campeche. 26p.

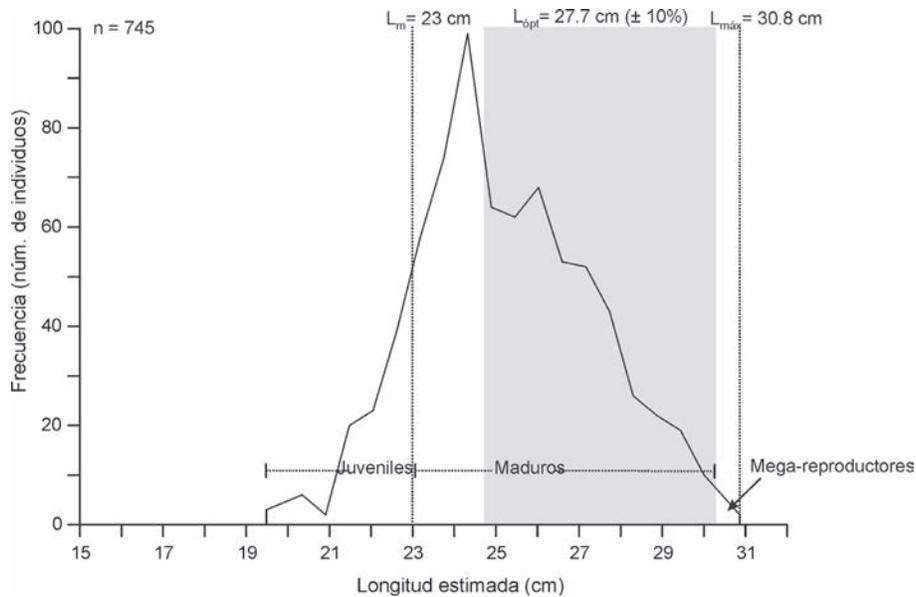


Fig. 2. Evaluación con los indicadores de Froese (2004) de la frecuencia de longitudes estimadas de individuos de *Iostichopus badionotus*, provenientes de las áreas I y II en la península de Yucatán, durante la temporada de pesca de diciembre 2013.  $L_m$ : longitud de primera madurez sexual,  $L_{opt}$ : intervalo de longitudes donde se obtiene la máxima cosecha y las máximas ganancias y  $L_{máx}$ : longitud máxima alcanzada en la temporada. Las longitudes son las estimadas usando la longitud y el ancho dorsal de los organismos de acuerdo con Poot-Salazar *et al.* (2014b).

Al tomar una muestra de la captura de individuos de *H. floridana* ( $n = 365$ ), medidos durante la temporada de pesca de fomento de 2012, resultó que 98% fue de individuos maduros, 23.3% estuvo dentro del intervalo de la longitud óptima y 55% de mega-reproductores (Fig. 3).

#### Análisis de la sostenibilidad de la pesquería

Se analizaron por separado las dos pesquerías de pepino de mar: la de *I. badionotus* en Yucatán y la de *H. floridana* en Isla Arena, Campeche. Los resultados mostraron que la probabilidad de auto-organización de los usuarios en Yucatán es de 30%, mientras que en Isla Arena es de 75% (Tabla 5).

La menor probabilidad de auto-organización en la pesquería de *I. badionotus* se debe principalmente a que el área donde se captura esta especie de pepino de mar es muy extensa (más de 335 ha) y los usuarios no logran establecer acuerdos de manejo, además de que no existe un fuerte liderazgo local, lo cual genera constante desconfianza entre los usuarios y ocasiona que las normas establecidas comunitariamente no

Tabla 5

Principales indicadores propuestos por Ostrom (2009) y valor del atributo de cada indicador por pesquería de pepino de mar en la península de Yucatán

Indicador o variable	Pesquería de <i>Iostichopus badionotus</i>	Pesquería de <i>Holothuria floridana</i>
1. Dimensiones del sistema de recursos	0	2
2. Productividad del sistema	1	2
3. Predictibilidad de la dinámica del sistema	1	1
4. Número de usuarios	0	0
5. Desarrollo de liderazgo local	1	2
6. Normas/Capital social	0	2
7. Conocimiento de sistemas socio-ecológicos	0	1
8. Importancia del recurso	1	1
9. Reglas de elección colectiva	0	2
10. Movilidad de unidades de recurso	2	2
Total	6	15
Probabilidad de auto-organización	7/20	15/20

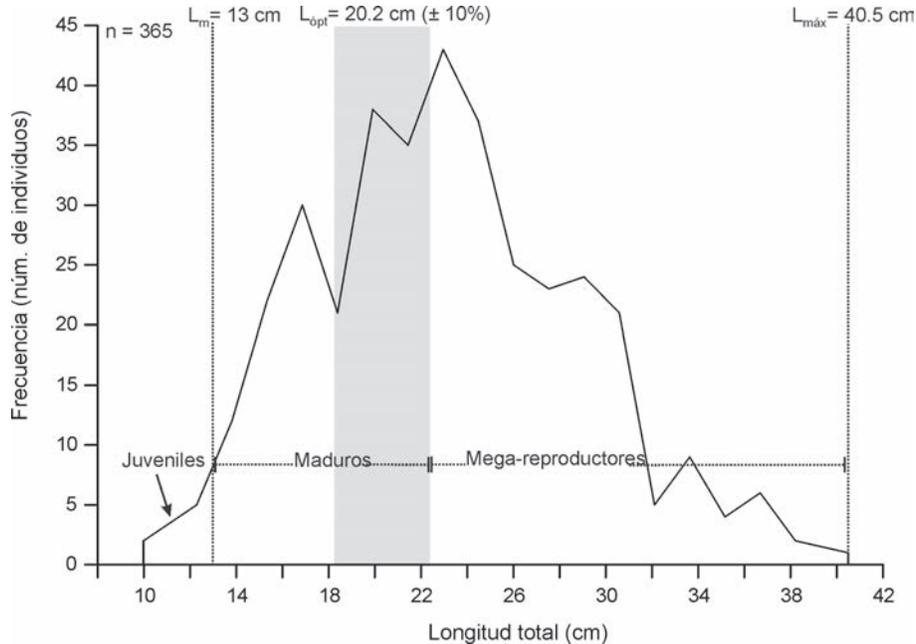


Fig. 3. Evaluación con los indicadores de Froese (2004) de la frecuencia de longitudes totales registradas de las capturas del pepino de mar *Holothuria floridana* en la localidad de Isla Arena, Campeche, en la península de Yucatán, durante la temporada de pesca de fomento 2012.  $L_m$ : longitud de primera madurez sexual,  $L_{opt}$ : intervalo de longitudes donde se obtiene la máxima cosecha y las máximas ganancias y  $L_{máx}$ : longitud máxima alcanzada en la temporada. Las longitudes son las longitudes totales en estado relajado de acuerdo con Ramos *et al.* (2012<sup>4</sup>).

se respeten. No existe autonomía para crear sus propias reglas, situación que es más evidente en la comunidad de Celestún (área IV).

En el caso de Isla Arena, la mayor probabilidad de auto-organización se debe a que el área donde se captura *H. floridana* es de dimensión media (15-50 ha), el recurso aún está saludable, existe un fuerte liderazgo comunitario con normas y acuerdos que son respetados por los usuarios, además de una fuerte autonomía que le proporciona el mismo estado de Campeche a la comunidad y a los líderes locales.

## Discusión

De acuerdo con los indicadores biológicos, las áreas I y II fueron las únicas con potencial para la pesca de *I. badionotus* en 2013. Los PRL de densidad y biomasa propuestos por el INAPESCA, basados en evaluaciones de *I. badionotus* durante los años 2010 y 2011, pudieran haber subestimado la verdadera densidad límite para el éxito

reproductivo de *H. floridana*. En los años 2010 y 2011, las densidades promedio de *I. badionotus* en el área IV fueron de 0.03 a 0.043 ind · m<sup>-2</sup>, con densidades máximas de 0.075 a 0.018 ind · m<sup>-2</sup> (Zetina-Moguel 2010<sup>3</sup>, Poot-Salazar *et al.* 2014a). Mientras que para *H. floridana* en Isla Arena, la densidad promedio en 2010 fue de 0.072 ind · m<sup>-2</sup> con una densidad máxima de 0.26 ind · m<sup>-2</sup> (Hernández-Flores *et al.* 2015). Resulta evidente que las dos especies presentan densidades diferentes en su estado sub explotado, por lo que se recomienda aplicar un PRL diferente para *H. floridana*.

La reducción en la densidad es un indicador importante, que podría afectar la capacidad de renovar las áreas de pesca con nuevos reclutas; esto debido a que la fertilización en los pepinos de mar es externa y su éxito reproductivo disminuye conforme se incrementa la distancia entre machos y hembras. Estudios realizados por Shepherd *et al.* (2004) con la especie *Isostichopus fuscus* (Ludwig 1875) en las Islas Galápagos, revelaron que la densidad para garantizar 50% de la fertilización de esta especie es de 12 000 ind · ha<sup>-1</sup>

(1.2 ind · m<sup>-2</sup>). Bell *et al.* (2008) sugieren que el umbral de densidad para evitar la depensación (efecto Alle) en la mayoría de las especies de pepino de mar tropicales se sitúa en el intervalo de 0.01 a 0.005 ind · m<sup>-2</sup>; es decir, de 100 a 50 ind · ha<sup>-1</sup>. En la mayoría de las pesquerías de pepino de mar, densidades de cientos de individuos por hectárea se reducen con rapidez en grados críticos, llegando a <1 ind · ha<sup>-1</sup> (Bell *et al.* 2008). En algunas especies comerciales, las densidades no se llegan a recuperar incluso después de muchos años de haberse clausurado la pesquería (Friedman *et al.* 2011).

La evaluación del estado de las pesquerías de pepino de mar en Yucatán, de acuerdo con los indicadores propuestos por Friedman *et al.* (2008), demostró que en el año 2013 el *stock* de *I. baddonotus* en el área IV requería acciones drásticas e inmediatas, mientras que el del área III estuvo en un estado intermedio, y el de las áreas I y II, en buen estado. El sexto indicador de este grupo se consideró negativo debido a que el producto sólo es procesado hasta el estado salado o de salmuera por los intermediarios locales, quienes le pagan directamente al pescador y son los que en realidad aportan el mayor beneficio económico a las comunidades pesqueras. Los segundos intermediarios, quienes le compran a los primeros, completan el proceso hasta el estado seco y exportan el producto final a un tercer intermediario que se encarga de distribuirlo. Finalmente, los segundos y terceros intermediarios son los que reciben las máximas ganancias porque, una vez fijado el precio, no se le paga más al primer intermediario si el producto está bien procesado, pero sí se le paga menos si se observa algún problema en la calidad, lo que afecta también el precio a pie de playa.

De acuerdo con estos indicadores, el *stock* de *H. floridana* en Isla Arena está en buen estado. Es importante mencionar que en el caso de *I. baddonotus*, los resultados se basan en evaluaciones realizadas después de la primera temporada de pesca de 2013 (del 8 de abril al 14 de mayo). Al evaluar las capturas de la segunda temporada de pesca (diciembre de 2013), los resultados mostraron un porcentaje bajo de mega-reproductores (menos de 1%) y, de acuerdo con Froese (2004), esto indica sobreexplotación y podría afectar el reclutamiento en los siguientes años y la resiliencia

del *stock* a eventos naturales, ocasionando el rápido colapso de la pesquería. El alto porcentaje de individuos juveniles (14%) también indica sobreexplotación. De acuerdo con Purcell *et al.* (2010), cualquier valor mayor a 5% de individuos por debajo de la talla de primera madurez sexual sugiere que las poblaciones de pepino de mar están siendo sobre explotadas.

Los resultados obtenidos en Isla Arena, donde la principal especie objetivo es *H. floridana*, mostraron que la biomasa no fue suficiente para recomendar la apertura de la pesca de este recurso. Al analizar en retrospectiva la pesca del año 2012, se observó que la captura estuvo constituida principalmente por un mayor porcentaje de mega-reproductores y un bajo porcentaje (23%) de individuos dentro del intervalo de longitud óptima. Como consecuencia, disminuyeron los bancos de mega-reproductores que son los que contribuyen a los mayores valores de biomasa. Esto se vio reflejado en la disminución de este indicador, quedando por debajo del punto de referencia establecido (3 000 t). Por tanto, a pesar de que el alto porcentaje de mega-reproductores y el bajo valor de juveniles capturados (<5%) evidenciaron que el *stock* está saludable, es necesario instrumentar alguna estrategia de manejo que establezca tallas mínimas y máximas para lograr que 100% de las capturas esté conformado por individuos cuyas tallas caigan dentro del intervalo de longitud óptima y se evite de esta manera la captura de los mega-reproductores, lo que de seguir así, reduciría con el tiempo la resiliencia del *stock* (Froese 2004).

El indicador 2 de Friedman *et al.* (2008) fue negativo en las áreas III y IV por el incremento en la potencia de los motores, en las dimensiones de las embarcaciones y en la capacidad de las neveras que se llevan a bordo. La cuota de captura por embarcación, establecida por la autoridad en 2010 y 2011 fue de 300 kg de pepino de mar fresco entero, mientras que en 2012 disminuyó a 250 kg. Sin embargo, en entrevistas realizadas, la mayoría de los pescadores coincidió en que estas cuotas no se respetaron y la captura total fue superior a la autorizada. Esta situación ha llevado a los pescadores a alejarse cada vez más de sus sitios tradicionales de pesca a sitios más profundos, para ello han tenido que cambiar las condiciones de sus embarcaciones, incrementar

las dimensiones de éstas y la potencia de sus motores. En el año 2010, en el área IV se capturaba de 300 a 350 kg · embarcación<sup>-1</sup> a profundidades de 10 m a 18 m. En la pesca de fomento de 2011, las capturas fueron de 400 kg a 500 kg · embarcación<sup>-1</sup>, que se obtenían en un intervalo de profundidades de 19 m a 22 m, mientras que en 2012 estas mismas capturas se obtuvieron a profundidades de más de 25 m. En la actualidad, a 28 m de profundidad en esta área sólo se extraen 100 kg o menos por embarcación. Anderson *et al.* (2011) llaman a este alejamiento hacia sitios más profundos, “expansión espacial”, y lo consideran un tipo de explotación serial que se ha observado en 51% de las pesquerías de pepino de mar.

Los resultados obtenidos muestran un serio problema en el manejo del recurso que está conduciéndolo a la sobreexplotación. Podría pensarse que esto se debe sobre todo a la naturaleza sedentaria de los pepinos de mar y a que son fáciles de pescar. Sin embargo, al analizar la pesquería como sistema socio-ecológico, se hace evidente que la estrategia actual en la instrumentación de cuotas no ha sido exitosa y parte del problema radica en la débil gobernanza regional, que da paso a una constante pesca ilegal (Smith *et al.* 2010). La estrategia de un reducido número de cuotas, como sugiere Purcell *et al.* (2010), funciona en sitios con una fuerte gobernanza, pero no en aquellos cuya gobernanza es débil y en los que no existe la capacidad de vigilar el cumplimiento de las cuotas y regulaciones (Anderson *et al.* 2011). Al ser mayor el número de usuarios inconformes, sin una capacidad de vigilancia efectiva (sistemas de gobernanza), se recrudecen la ilegalidad (interacción) y el sentido de desconfianza y egoísmo, lo que conlleva a la sobreexplotación y la insostenibilidad del recurso (resultados y estado del sistema). Al actuar de forma ilegal, los beneficios económicos son inmediatos y los costos (como el riesgo de ser penalizado) son menores a las ganancias obtenidas conforme se incrementa el volumen de captura. Esto ocasiona que el recurso, al ser sedentario, sea más vulnerable a la sobreexplotación. La sobreexplotación tiende a ocurrir cuando los usuarios del recurso no conocen a los demás involucrados, no tienen una base de confianza y reciprocidad, no pueden comunicarse, no tienen reglas establecidas y carecen de mecanis-

mos de monitoreo y sanciones eficaces (Poteete *et al.* 2012).

En Isla Arena, la probabilidad de auto-organización de los usuarios de la pesquería de *H. floridana* es mucho mayor y, por tanto, hay mayor probabilidad de alcanzar la sostenibilidad del recurso. Esto se debe en gran medida a las dimensiones del sistema, a la autonomía de la comunidad y a la confianza de los usuarios en los líderes locales, que han fortalecido el sistema de gobernanza. De acuerdo con Ostrom (2009), una reputación confiable resulta mejor inversión al reforzar mutuamente los grados de confianza y reciprocidad. Al observar los resultados negativos de la pesca de fomento del pepino de mar *H. floridana* en 2012 y su efecto en el recurso y en la comunidad de Isla Arena, los pescadores de la localidad establecieron sus propias reglas y solicitaron a las autoridades la no asignación de permisos de pesca comercial para esta especie; los líderes locales se han enfocado en motivar a los usuarios a regresar a sus pesquerías tradicionales. Razón por la cual, en la actualidad, esta especie está en veda permanente en toda la península de Yucatán (DOF 2015b).

Respecto a la pesquería de *I. badionotus* en el estado de Yucatán, las reglas existentes son apropiadas, pero el sistema de gobernanza es débil, lo que ha propiciado la desconfianza, la ilegalidad, la corrupción, el egoísmo y la frustración, factores que predicen la insostenibilidad de la pesquería. Este análisis de predicción se realizó para los datos obtenidos hasta diciembre del año 2013 y queda confirmada con las últimas evaluaciones realizadas por el INAPESCA en el estado de Yucatán en febrero y marzo de 2015, que revelaron una disminución en la densidad de las áreas I y II respecto al año 2013 (Poot-Salazar *et al.* 2015<sup>8</sup>).

Hasta el momento, la pesquería se ha manejado mediante el establecimiento de cuotas de captura (con base en los resultados de los PRL del INAPESCA), vedas temporales y permanentes en las diferentes áreas, a la vez que se ha limitado

8. Poot-Salazar A, A Wakida y JC Espinoza-Méndez. 2015. Dictamen sobre el estatus de la población de pepino de mar *Isostichopus badionotus* en la plataforma continental de Yucatán, durante febrero y marzo del 2015. Dictamen técnico (Documento interno). CRIP-Yucalpetén. Instituto Nacional de Pesca. 33p.

el número de permisos y el tiempo de las temporadas de pesca. También se han instrumentado talleres para mejorar las prácticas de procesamiento (SAGARPA 2012) y se ha realizado un programa de regulación de embarcaciones. Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos realizados por el gobierno, el recurso “pepino de mar” en la península de Yucatán está muy deteriorado o sobreexplotado en las áreas tradicionales de pesca. Esto demuestra lo que se concluye de un análisis de diversos estudios en el mundo realizados por otros investigadores acerca de recursos naturales de uso común: las regulaciones impuestas pueden hacer a un lado el comportamiento cooperativo voluntario de los usuarios o al que se llega por medio de la comunicación (Poteete *et al.* 2012). De acuerdo con las investigaciones realizadas por Ostrom (2009) y al análisis de pesquerías que han demostrado ser sostenibles (Gutiérrez *et al.* 2011, Defeo 2015), los usuarios de un recurso común son capaces de auto-organizarse para lograr la sostenibilidad, sin necesidad de confiar en los mecanismos formales del gobierno o de la infraestructura.

Por todo ello, se recomienda fomentar la auto-gobernanza mediante la acción conjunta de trabajo social en las comunidades pesqueras, que ayude a los usuarios a generar sus propias reglas. Para incrementar la motivación, dichas reglas deben permitir las máximas ganancias para todos y la distribución equitativa y proporcional del recurso. Los indicadores y puntos de referencia hasta ahora desarrollados por el INAPESCA deben mantenerse como una referencia y ser modificados, pero también se deben generar puntos de referencia objetivos para establecer estrategias de recuperación en los bancos sobreexplotados.

### Agradecimientos

A la Comisión de Pesca del Estado de Yucatán y a la Secretaría de Pesca del Estado de Campeche por el financiamiento para las evaluaciones independientes de la pesquería, al personal técnico del CRIP - Yucalpetén, CRIP - Lerma, estudiantes del CINVESTAV-IPN, UADY y UMDI-UNAM-SISAL que contribuyeron en el trabajo de campo, así como a los pescadores y a las sociedades cooperativas de las comunidades de Campeche y Yucatán.

### Literatura citada

- Anderson SC, JM Flemming, R Watson y HL Lotze. 2011. Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fish and Fisheries* 12: 317-339.
- Bell JD, SW Purcell y WJ Nash. 2008. Restoring small-scale fisheries for tropical sea cucumbers. *Ocean and Coastal Management* 51: 589-593.
- Bell S y S Morse. 2008. *Sustainability Indicators. Measuring the Immeasurable?* Earthscan, London, UK. 228p.
- Caddy JF y R Mahon. 1996. *Puntos de referencia para la ordenación pesquera*. FAO Documento Técnico de Pesca 347. Roma, Italia. 109p.
- Defeo O. 2015. *Enfoque ecosistémico pesquero: Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina*. FAO. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 592. Roma, Italia. 82p.
- DOF. 2015a. Acuerdo por el que se da a conocer el plan de manejo pesquero de pepino de mar café (*Isostichopus badionotus*) y lápiz (*Holothuria floridana*) en la península de Yucatán. *Diario Oficial de la Federación*. México. 12 de mayo de 2015.
- DOF. 2015b. Acuerdo por el que se modifica el Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994, para modificar el periodo de veda y cuota de aprovechamiento de pepino de mar en las aguas de jurisdicción federal frente a la Península de Yucatán. *Diario Oficial de la Federación*. México. 14 de mayo de 2015.
- FAO. 2000. *Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina*. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. Roma, Italia. 68p.
- Friedman K, S Purcell, J Bell y C Hair. 2008. *Sea cucumber fisheries: A manager's toolbox*. ACIAR Monograph No. 135, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. Australia. 32p.
- Friedman K, H Eriksson, E Tardy y K Pakoa. 2011. Management of sea cucumber stocks: patterns of vulnerability and recovery of sea cucumber stocks impacted by fishing. *Fish and Fisheries* 12: 75-93.
- Froese R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish and Fisheries* 5: 86-91.
- Gutiérrez NL, R Hilborn y O Defeo. 2011. Leadership, social capital and incentives promote successful fisheries. *Nature* 470: 386-389.

- Hák T, B Moldan y AL Dahl (eds.). 2007. *Sustainability indicators. A scientific assessment*. SCOPE Serie 67. Island Press. Washington, DC, USA. 413p.
- Hernández-Flores A, A Condal, A Poot-Salazar y JC Espinoza-Méndez. 2015. Geostatistical analysis and spatial modeling of population density for the sea cucumbers *Isostichopus badionotus* and *Holothuria floridana* on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Fisheries Research* 172: 114-124.
- Martins JH, AS Camanho y MB Gaspar. 2012. A review of the application of driving forces-Pressure-State-Impact-Response framework to fisheries management. *Ocean and Coastal Management* 69: 273-281.
- Ostrom E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325: 419-422.
- Poot-Salazar A. 2015. Crecimiento, reproducción y hábitos alimenticios de *Isostichopus badionotus* (Selenka 1867) (Echinodermata: Holothuroidea) en el poniente del estado de Yucatán. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida, IPN. México. 143p.
- Poot-Salazar A, PL Ardisson, E Poot, DA Poot e IN Caro. 2014a. La pesca del pepino de mar en Celestún, Yucatán: una búsqueda hacia el manejo sostenible. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras* 31: 1-4.
- Poot-Salazar A, A Hernández-Flores y PL Ardisson. 2014b. Use of the SLW index to calculate growth function in the sea cucumber *Isostichopus badionotus*. *Scientific Reports* 4, 5151; DOI: 10.1038/srep05151 (2014).
- Poteete AR, MA Janssen y E Ostrom. 2012. *Trabajar juntos: Acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica*. Traducción L Buj y L Merino. Universidad Nacional Autónoma de México. 572p.
- Purcell SW, H Gossuin y NS Agudo. 2009. *Status and management of the sea cucumber fishery of La Grande Terre, New Caledonia*. WorldFish Center Studies and Reviews N° 1901. The WorldFish Center, Penang, Malaysia. 136p.
- Purcell SW, A Lovatelli, M Vasconcellos e Y Ye. 2010. *Manejo de las pesquerías de pepino de mar con un enfoque ecosistémico*. FAO, Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 520. Roma, Italia. 169p.
- Purcell SW, Y Samyn y C Conand. 2012. *Commercially important sea cucumbers of the world*. FAO. Species Catalogue for Fishery Purposes No. 6. Roma, Italia. 150p.
- Purcell SW, A Mercier, Ch Conand, J-F Hamel, MV Toral-Granda, A Lovatelli y S Uthicke. 2013. Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fish and Fisheries* 14: 34-59.
- Purcell SW, BA Polidoro, J-F Hamel, RU Gamboa y A Mercier. 2014. The cost of being valuable: predictors of extinction risk in marine invertebrates exploited as luxury seafood. *Proceedings of the Royal Society B* 281: 20133296. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.3296>
- Rice JCy M-J Rochet. 2005. A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science* 62: 516-527.
- SAGARPA. 2012. *Manual de procesamiento y buenas prácticas de manejo de pepino de mar en la península de Yucatán*. SAGARPA, CONAPESCA, INAPESCA, SENASICA, COFEPRIS e INCA RURAL. México. 47p.
- Shepherd SA, P Martínez, MV Toral-Granda y GJ Edgar. 2004. The Galapagos sea cucumber fishery: management improves as stocks decline. *Environmental Conservation* 31: 102-110.
- Skewes T, S Taylor, D Dennis, M Haywood y A Donovan. 2006. *Sustainability assessment of the Torres Strait sea cucumber fishery*. CSIRO Marine and Atmospheric Research and CRC Torres Strait, Cleveland, Australia. 44p.
- Smith MD, CA Roheim, LB Crowder, BS Halpern, M Turnipseed, JL Anderson, F Asche, L Bourillón, AG Guttormsen, A Khan, LA Liguori, A McNevin, MI O'Connor, DSquires, P Tyedmers, C Brownstein, K Carden, DH Klinger, R Sagarin y KA Selkoe. 2010. Sustainability and global seafood. *Science* 327: 784-786.
- Uthicke S, D Welch y JAH Benzie. 2004. Slow growth and lack of recovery in overfished holothurians on the Great Barrier Reef: Evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys. *Conservation Biology* 18: 1395-1404.
- Zetina-Moguel C, V Ríos, M Koyoc, I Hernández, K Cervera, D De Anda, P Arceo, E Ortiz y M Guevara. 2003. Estimación de la biomasa de pepino de mar (*Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*) en dos áreas de la costa de Yucatán entre octubre del 2000 y marzo del 2001. *Proceedings of the 54th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, pp: 298-306.

Recibido: 22 de junio de 2015.

Aceptado: 4 de octubre de 2015.