

Evaluación del estado de conservación del pepino de mar *Isostichopus badionotus* (Aspidochirotida: Stichopodidae) en la Isla de la Juventud, Cuba

*Conservation status evaluation of the sea cucumber Isostichopus badionotus
(Aspidochirotida: Stichopodidae), on the Isla de la Juventud, Cuba*

Rafael Puga Millán , Aracely Hernández-Betancourt , Patricia Canet Mulen 

Departamento de Pesquerías, Centro de Investigaciones Pesqueras, La Habana, Cuba

*Autor al que se dirige la correspondencia: yeyi.hernandezpaula@gmail.com

Recibido: 10 de julio 2024 / Revisión: 09 de julio 2025 / Aceptado: 24 de octubre 2025

Resumen

La pesca de pepino de mar *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) en la región de la Isla de la Juventud, Cuba comenzó en 2004. Actualmente esta zona de pesca, es de las pocas que se mantienen activas, por lo cual, actualizar el estado del recurso y determinar puntos de referencias sostenibles para esta zona es de gran importancia. Esta investigación busca identificar el mejor modelo de evaluación y determinar puntos de referencias sostenibles para esta zona. Se utilizaron las estadísticas de la pesquería de pepino de mar de PESCAISLA, de captura (t) y esfuerzo pesquero (días de pesca) por temporada de noviembre(año x) a mayo(año x+1), del período 2005-2022. Se determinó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) para cada año. Se evaluó el estado del recurso mediante modelos dinámicos de producción excedente de biomasa. Para explorar el modelo más adecuado, se utilizaron diferentes variantes los modelos de Schaefer (1954) y Fox (1970) con método de Hillborn y Walters (1992) y el de Pella y Tomlinson (1969) según modificación de Costello y colaboradores (2016). El mejor ajuste resultó ser Pella-Tomlinson con error de proceso lognormal y cálculo analítico de q, cuyos resultados fueron utilizados para describir la situación del recurso y definir puntos de referencia para el manejo de su pesquería. Se pudo identificar cuatro etapas diferenciadas en la pesquería: saludable de 2005 a 2006, sobrepesca de 2007 a 2013, sobrepesca y agotamiento de 2014 a 2019 y agotamiento de 2020 a 2022 con una ligera tendencia a la recuperación de la biomasa.

Palabras clave: Pesquería, holoturia, manejo, captura máxima sostenible

Abstract

The *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) sea cucumber fishery in the Isla de la Juventud region of Cuba began in 2004. Currently, this fishing area is one of the few that remain active, so updating the status of the resource and determining sustainable reference points for this area is of great importance. This research seeks to identify the best assessment model and determine sustainable reference points for this area. PESCAISLA sea cucumber fishery statistics were used, for catch (t) and fishing effort (fishing days) per season from November (year x) to May (year x+1), for the period 2005-2022. The catch per unit effort (CPUE) was determined for each year. The state of the resource was evaluated using dynamic models of surplus biomass production. To explore the most appropriate model, different variants of the Schaefer (1954) and Fox (1970) models with Hillborn and Walters (1992) method and the Pella and Tomlinson (1969) model as modified by Costello colaboradores (2016) were used. The best fit proved to be Pella-Tomlinson with lognormal process error and analytical calculation of q, the results of which were used to describe the status of the resource and define reference points for the management of its fishery. Four distinct stages in the fishery could be identified: healthy from 2005 to 2006, overfishing from 2007 to 2013, overfishing and depletion from 2014 to 2019 and depletion from 2020 to 2022 with a slight trend towards biomass recovery.

Keywords: Fishing, holothuria, management, maximum sustainable catch



Introducción

El pepino de mar *Isostichopus badiotus* Selenka, 1867 es un recurso pesquero exportable en Cuba desde 1999. Las capturas y comercio de esta especie comenzaron por la región suroriental del país en la zona de pesca de la provincia de Granma. Para el 2001 ya se habían realizado prospecciones en las zonas de pesca de Holguín (región nororiental del país) y al sur de Camagüey. Esta última zona es donde se han obtenido los mayores volúmenes de captura históricos de esta especie en Cuba (Alfonso et al., 2004; Frías et al., 2008). Hacia la región occidental las prospecciones comenzaron en 2004 por la Isla de la Juventud (región suroccidental del país) y se ampliaron en 2013 al norte de Pinar del Río (provincia más occidental del país). Las exportaciones de pepino de mar de Cuba obtienen el tercer lugar en Latinoamérica después de Perú y Ecuador (Espinoza Tenorio et al., 2012).

Desde el comienzo, la pesquería se basó en cuotas de capturas obtenidas por estudios de abundancias del recurso en las regiones de pesca, donde se aplicaba entre un 20 y 25% del potencial pesquero. El recurso también se maneja mediante el establecimiento de un periodo de veda reproductiva (Resol. 023/2006) y talla mínima legal (Resol. 338/2009). A pesar de los esfuerzos por mantener la pesquería sostenible, la abundancia de adultos ha disminuido por debajo del límite sosteni-

ble en algunas zonas, producto de la pesca ilegal (Hernández-Betancourt et al., 2018). Esta situación provocó el cierre de la pesca en varias zonas como Holguín (2018-actualidad), Granma (2017, 2020, y 2021) y Pinar del Río (2021-actualidad). Como resultado de la evaluación del recurso aplicando un modelo dinámico de producción de biomasa en la zona de Camagüey en 2015, se disminuye el porcentaje de potencial pesquero a un valor de 10%, medida que se extiende a todo el país como enfoque precautorio. Actualmente la zona de pesca de la Isla de la Juventud es de las pocas que se mantienen activas. Por lo cual, actualizar el estado del recurso y determinar puntos de referencias sostenibles para esta zona es de gran importancia, constituyendo estos los objetivos de la presente investigación: identificar el mejor modelo de evaluación y determinar puntos de referencias sostenibles para esta zona.

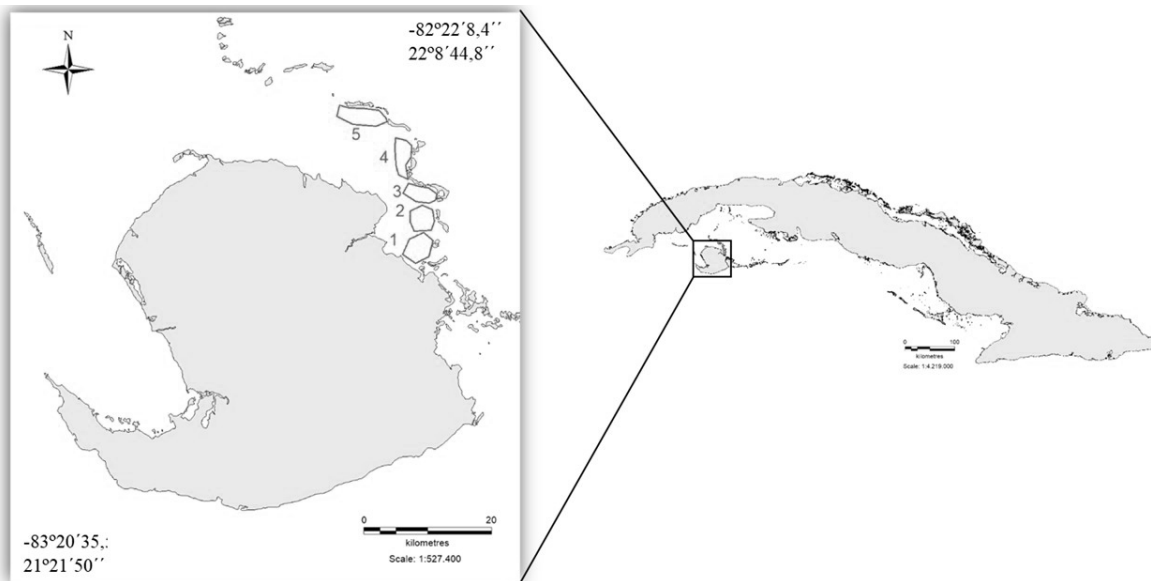
Materiales y métodos

Área de estudio

La pesca de pepino de mar en la Isla de la Juventud es monoespecífica, capturando solo *I. badiotus*. Las capturas ocurren en la porción nororiental de esta isla (Figura 1), abarcando un área total de 150 km². Existen cinco zonas de pesca con áreas entre 5 y 12 km².

Figura 1

Zonas de pesca del pepino de mar *I. badiotus* en la Isla de la Juventud, Cuba



Nota. El recuadro delimita el área de 150 km² en la región nororiental, donde se distribuyen las cinco zonas principales de captura.

Fuente de datos

Se utilizaron las estadísticas de la pesquería de pepino de mar de la empresa pesquera PESCAISLA, de captura (t) y esfuerzo pesquero (días de pesca) por temporada de noviembre_(año x) a mayo_(año $x+1$), del período 2005-2022. La información fue obtenida a partir de los modelos estadísticos oficiales emitidos mensualmente por el Grupo Empresarial de la Industria Pesquera (GEIP).

Análisis estadístico

Para determinar la relación entre las variables captura y esfuerzo, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significación de 0.05. Para esto se empleó el programa matemático Minitab 17.

Se determinó la captura por unidad de esfuerzo ($CPUE$) para cada año, de la siguiente forma:

$$CPUE = pep./días-pesca$$

Dónde: *pep.* es la cantidad de pepino capturado; *días-pesca* es el esfuerzo que equivale a la cantidad de días que pescó cada embarcación. Es bien conocido que los pepinos de mar se distribuyen en parches (Hernández-Flores et al., 2018; López-Rocha, 2011), pero también es cierto que la experiencia de los pescadores les permite conocer y ubicar los sitios de concentración y dirigir sus operaciones de pesca hacia los mismos. La $CPUE$ en esta pesquería se calculó a partir de los reportes obligatorios de los días de pesca y la entrega de la captura en puerto, por lo que la $CPUE$ integra y sintetiza un índice que refleja la abundancia de la especie durante toda la campaña de pesca, lo cual es uno de los requisitos para ajustar un modelo dinámico de biomasa.

Modelos de evaluación

La evaluación del estado del recurso fue realizada mediante modelos dinámicos de producción excedente de biomasa. El desarrollo de nuevas pesquerías de invertebrados marinos por lo general se centra en especies para las cuales existe poca o muy limitada información tanto biológica como de la explotación (Perry et al., 1999). Por lo tanto, se considera trascendente la generación de información biológica pesquera

en el inicio de una pesquería, relativamente nueva, como es el caso del pepino de mar en Cuba. Se debe reconocer que un modelo es una representación simple de la realidad, lo cual se cumple para los modelos dinámicos de biomasa por su simplicidad en cuanto a su procedimiento de cálculo y a sus requerimientos de información (Haddon, 2011; Hillborn & Walters, 1992). Por lo tanto, este tipo de modelo fue utilizado, independientemente del conocimiento del tipo de crecimiento de la población, como una primera aproximación para evaluar el efecto de la pesca sobre la biomasa y la captura, dando cumplimiento así al objetivo de la evaluación de un recurso pesquero, que según Hillborn y Walters (1992), es realizar predicciones cuantitativas sobre las respuestas de las poblaciones a diferentes alternativas de ordenación.

Para explorar el modelo más adecuado, se utilizaron diferentes variantes según autores y procedimientos para su ajuste. Los modelos de Schaefer (1954) y Fox (1970) con método de Hillborn y Walters (1992) y el de Pella y Tomlinson (1969) según modificación de Costello y colaboradores (2016).

En las ecuaciones de cada modelo se tuvieron en cuenta dos variantes para la inclusión de la captura (C): una variante con la cifra de captura conocida y otra asumiendo error de observación en la captura, donde la misma se estimó en función del producto del esfuerzo pesquero (f), el coeficiente de capturabilidad (q) y la biomasa (B). El ajuste de los modelos se realizó minimizando como función objetivo la suma de los residuales entre el índice de abundancia estimado por el modelo y el índice observado, calculado como la captura por unidad por unidad de esfuerzo ($CPUE$) expresado en $t/día$ pesca.

Los valores óptimos de los parámetros del modelo se determinaron minimizando la función objetivo con la herramienta Solver de Microsoft Excel. Para el ajuste, se consideraron dos variantes de error de proceso en el modelo: una variante asumiendo distribución normal en el cálculo de la función objetivo y otra con distribución logarítmica.

Los parámetros del modelo son: K (capacidad de carga del ecosistema, o biomasa máxima de la población de pepino en condiciones de no explotación), r (tasa intrínseca de crecimiento poblacional) y q (coeficiente de capturabilidad). En los casos donde se asumió la captura conocida, se utilizó adicionalmente una variante de cálculo analítica del parámetro q , como función dependiente de la $CPUE$ observada y la biomasa estimada por el modelo.

Para seleccionar el modelo con mejor ajuste, se aplicó el Criterio de Información de Akaike corregido (AIC_c por sus siglas en inglés). Según Quinn y Keough (2002), los criterios se calcularon como:

$$AIC_c = n \ln(SS) + 2(p + 1) + n \ln(n)$$

Dónde:

SS es la suma de cuadrados de los residuales entre el índice de abundancia estimado por el modelo y el observado,

n es el tamaño de muestra determinado por el número de años

p es el número de parámetros independientes del modelo

Para cada modelo **i** se calculó la diferencia (Δ_i) entre el valor correspondiente de AIC_{ci} y el valor mínimo de AIC_c obtenido entre todos los modelos (AIC_{cmin}),

$$\Delta_i = AIC_{ci} - AIC_{cmin}$$

El valor de $\Delta_i = 0$ corresponde al modelo de mejor ajuste, mientras que valores de $\Delta_i < 2$ indican poca diferencia entre los modelos.

Puntos de referencia

Una vez seleccionado el modelo con mejor ajuste, se obtuvieron las series anuales de biomasa (B) y tasa de mortalidad por pesca (F), con las que se elaboraron curvas teóricas con predicciones a largo plazo de la captura y la biomasa para valores determinados de F en condiciones de equilibrio. Con estas curvas se calcularon Puntos de Referencia (PR) para el manejo de la pesquería con la herramienta Solver de Microsoft Excel.

Como PR Límite (PRL) se definieron la Captura Máxima Sostenible (CMS) y la biomasa, la tasa de mortalidad por pesca y el esfuerzo relacionados (B_{CMS} , F_{CMS} y f_{CMS}). Como PR Objetivo (PRO) se determinaron el 80% de la Captura Máxima Sostenible (80%CMS) y la biomasa, la tasa de mortalidad por pesca y el esfuerzo relacionados ($B_{80\%CMS}$, $F_{80\%CMS}$ y $f_{80\%CMS}$). Para examinar la situación del recurso se elaboró un diagrama de Kobe (Maunder & Aires-da-Silva, 2012) que relaciona las trayectorias de F y B respecto a sus valores sostenibles.

Resultados

Captura, esfuerzo y CPU

La serie de captura que comienza en 2005, obtuvo su valor máximo en la campaña de pesca 2007-2008 con 43.5 t y un mínimo de 2.84 t en la campaña 2020-2021, con una media total anual de 23.3 t (Figura 2A). El inicio de la serie de captura muestra una estabilidad con una media de 36 t pepinos de mar capturados y eviscerados al año (2005-2013). De 2013 a 2022 se produce un descenso brusco con una media de 12.45 t. Los valores de captura de las últimas cuatro campañas de pesca se mantienen por debajo del promedio del segundo periodo (2013-2022).

El esfuerzo pesquero expresado en días-pesca, oscila entre 54 y 137 por temporada de pesca. Ambas variables, captura y esfuerzo presentan una relación lineal fuerte, con un valor de correlación de Pearson de 0.654 ($p = 0.004$). La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) expresada en toneladas de pepino de mar I. badionotus eviscerado capturadas por días de pesca, muestra una tendencia negativa en el tiempo (Figura 2B). Su valor máximo se obtiene al inicio de la serie (campaña 2005-2006) con 0.6 t/días-pesca y el mínimo se obtiene en la campaña pesquera 2019-2020 con un valor de 0.09 t/días-pesca. La tendencia de esta variable es negativa y muestra ligeras fluctuaciones, solo se observa un pico notable en la campaña 2012-2013 con un valor de 0.46 t/días-pesca, inferior al máximo obtenido.

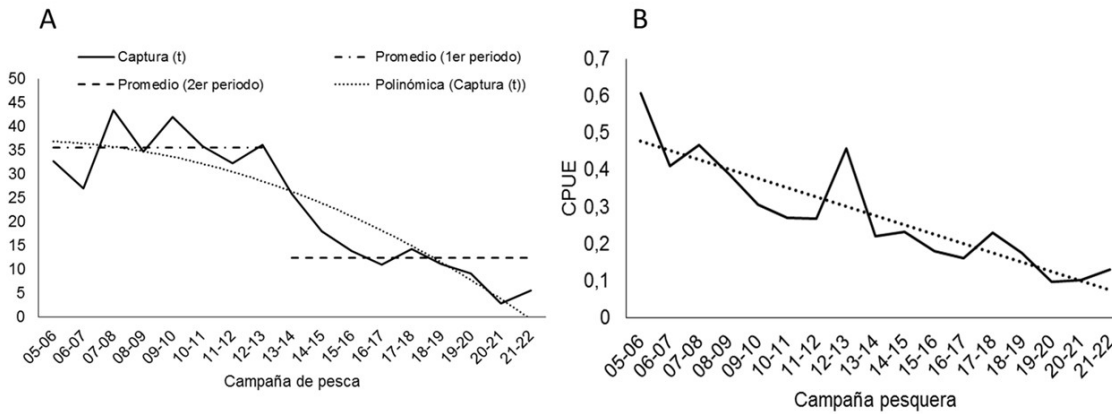
Modelos de evaluación

La comparación entre modelos mediante el criterio de Akaike (Tabla 1) indica que en general, la inclusión de la captura observada en la formulación del modelo proporciona mejores ajustes con menores valores de Δ_i y mayores coeficientes de correlación entre la cpue estimada y la observada, en relación con las variantes donde se estima la captura a partir del esfuerzo, aunque en estos casos la correlación de la F con el esfuerzo resultó ligeramente superior.

En cada tipo de modelo (Schaefer, Fox y Pella-Tomlinson) se obtuvieron resultados que no difieren significativamente del mejor ajuste, que resultó ser Pella-Tomlinson con error de proceso lognormal y cálculo analítico de q, cuyos resultados fueron uti-

Figura 2

Captura y esfuerzo pesquero de Isostichopus badionotus en la Isla de la Juventud, Cuba



Nota. Panel A: Captura (toneladas de pepino de mar eviscerado) del pepino de mar *I. badionotus*, en la Isla de la Juventud, Cuba, por campaña pesquera (noviembre(año x) – mayo(año x+1)). Panel B: Captura por unidad de esfuerzo expresada en toneladas de pepino de mar *I. badionotus* eviscerado capturadas por días de pesca, en la Isla de la Juventud, Cuba.

Tabla 1

Comparación entre modelos para la evaluación de pepino de mar en PESCAISLA mediante el Criterio de Información de Akaike

	Modelo	SS	n	p	AIC _{Ci}	Δ_i	r ² cpue	r ² F,f
1	S, EPnor	1.441	18	3	66.603	2.779	0.746	0.673
2	S, EPlog	1.349	18	3	65.415	1.591 *	0.742	0.670
3	S, EPnor, q	1.471	18	2	64.974	1.149 *	0.746	0.637
4	S, EPlog, q	no ajuste						
5	S, EPnor, EObsC	1.620	18	3	68.710	4.8862	0.711	0.690
6	S, EPlog, EObsC	1.535	18	3	67.740	3.916	0.706	0.687
7	F, EPnor	1.462	18	3	66.863	3.039	0.738	0.674
8	F, EPlog	1.372	18	3	65.720	1.895 *	0.734	0.670
9	F, EPnor, q	1.492	18	2	65.229	1.405 *	0.738	0.675
10	F, EPlog, q	1.384	18	2	63.876	0.052 *	0.735	0.664
11	F, EPnor, EObsC	1.619	18	3	68.699	4.8751	0.709	0.689
12	F, EPlog, EObsC	1.534	18	3	67.729	3.9043	0.704	0.685
13	PT, EPnor	1.458	18	3	66.814	2.9897	0.740	0.674
14	PT, EPlog	1.378	18	3	65.798	1.974 *	0.729	0.674
15	PT, EPnor, q	1.489	18	2	65.193	1.368 *	0.740	0.675
16	PT, EPlog, q	1.380	18	2	63.824	0 *	0.736	0.664
17	PT, EPnor, EObsC	1.619	18	3	68.699	4.8751	0.709	0.690
18	PT, EPlog, EObsC	1.535	18	3	67.740	3.916	0.705	0.686

Nota. Se incluye la correlación entre cpue observada y estimada y entre F y el esfuerzo de pesca. Simbología: S (Schaefer), F (Fox), PT (Pella-Tomlinson), EPnor (error de proceso normal), EPlog (error de proceso lognormal), EObsC (error de observación en la captura), q (cálculo analítico del coeficiente de capturabilidad). * Poca diferencia entre modelos.

lizados para describir la situación del recurso y definir PR para el manejo de su pesquería (Tabla 2). Con este modelo se estimaron como parámetros $K = 358$ t,

$r = 0.554$ y $q = 0.00161$. Los parámetros de todos los modelos utilizados se muestran en la Tabla 3, donde se puede observar que la mayor variabilidad entre

Tabla 2

Puntos de Referencia Objetivo (PRO) y Puntos de Referencia Límite (PRL) para el manejo de la pesquería de pepino de mar en PESCAISLA

PRO			PRL		
80%CMS (t)	$f_{80\%CMS}$ (días pesca)	$B_{80\%CMS}$ (t)	CMS (t)	f_{CMS} (días pesca)	B_{CMS} (t)
10	27	233	13	54	143

Nota. Resultados obtenidos mediante el modelo Pella-Tomlinson

Tabla 3

Resultados de los parámetros y puntos de referencia de los modelos utilizados para la evaluación de pepino de mar en PESCAISLA

Modelo	K (t)	r (1/año)	q (1/día pesca)	CMS (t)	f_{CMS} (días pesca)
1 S, EPnor	302	0.224	0.00186	17	60
2 S, EPlog	331	0.173	0.00170	14	51
3 S, EPnor, q	304	0.222	0.00188	17	59
4 S, EPlog, q	no ajuste				
5 S, EPnor, EObsC	341	0.185	0.00162	16	57
6 S, EPlog, EObsC	387	0.123	0.00138	12	45
7 F, EPnor	350	0.116	0.00159	15	73
8 F, EPlog	378	0.086	0.00145	12	59
9 F, EPnor, q	352	0.116	0.00160	15	72
10 F, EPlog, q	366	0.091	0.00157	12	58
11 F, EPnor, EObsC	375	0.107	0.00146	15	73
12 F, EPlog, EObsC	418	0.070	0.00127	11	55
13 PT, EPnor	342	0.700	0.00163	15	68
14 PT, EPlog	402	0.416	0.00134	11	49
15 PT, EPnor, q	343	0.697	0.00165	15	67
16 * PT, EPlog, q	358	0.554	0.00161	13	54
17 PT, EPnor, EObsC	369	0.633	0.00149	15	67
18 PT, EPlog, EObsC	413	0.416	0.00129	11	51
Mínimo	302	0.070	0.00127	11	45
Máximo	418	0.700	0.00188	17	73
Media	361	0.290	0.00155	14	60
Desviación estándar	33	0.229	0.00018	2	9
CV (%)	9	79	11	15	15

modelos ocurrió para el parámetro r . Sin embargo, como el cálculo de los puntos de referencia depende de la combinación de los parámetros del modelo, la CMS y el esfuerzo correspondiente resultaron bien agrupados alrededor de un promedio de 14 t y 60 días pesca respectivamente.

La captura se mantuvo por encima de niveles sostenibles (CMS) entre 2007 y 2019 y hasta 2015 fue muy superior a los valores teóricos a largo plazo en condiciones de equilibrio según las predicciones del modelo (Figura 3A). A partir de 2019 la captura ha estado por debajo de la curva de equilibrio y la pesquería se encuentra actualmente con un grado de explotación precautorio alrededor del PRO 80% CMS.

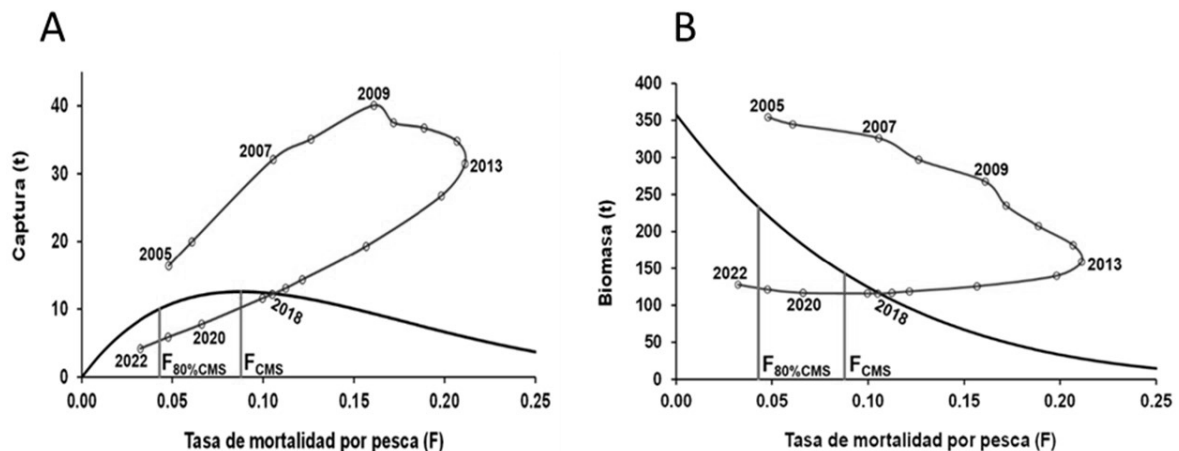
La biomasa fue superior hasta 2015 a las predicciones en equilibrio del modelo, a pesar de que la

tasa de mortalidad por pesca se mantuvo por encima del PRL de CMS entre 2007 y 2019 (Figura 3B). La disminución de F a partir de 2013 atenuó la tendencia descendente de la biomasa, aunque esta llegó a su nivel mínimo en 2019 al decrecer a un 33% de su magnitud inicial. La abundancia no se ha recuperado a valores sostenibles ya que F ha estado por debajo del PRL solamente durante las tres últimas temporadas de pesca.

La evaluación del estado del recurso al analizar de forma integrada las trayectorias de F y B respecto a sus niveles sostenibles, permitió identificar cuatro etapas diferenciadas en la pesquería (Figura 4). Saludable de 2005 a 2006, sobrepesca de 2007 a 2013, sobrepesca y agotamiento de 2014 a 2019 y agotamiento de 2020 a 2022 con una ligera tendencia a la recuperación de la biomasa.

Figura 3

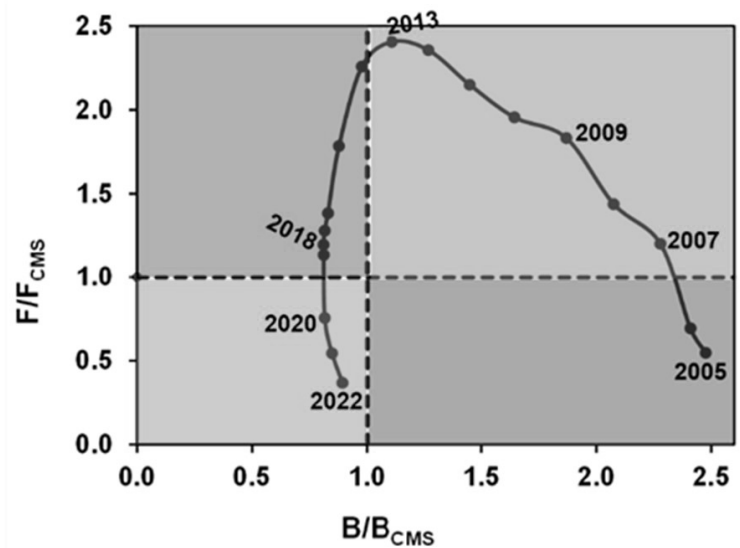
Curvas de equilibrio teórico y trayectorias observadas (2005-2022) para la pesquería de pepino de mar en PESCAISLA



Nota. Panel A: Curva de equilibrio teórica de biomasa en función de la tasa de mortalidad por pesca en la pesquería de pepino de mar en PESCAISLA. Se representan la trayectoria observada entre 2005 y 2022 (promedios móviles de tres años) y los Puntos de Referencia para CMS y 80%CMS. Panel B: Curva de equilibrio teórica de biomasa en función de la tasa de mortalidad por pesca en la pesquería de pepino de mar en PESCAISLA. Se representan la trayectoria observada entre 2005 y 2022 (promedios móviles de tres años) y los Puntos de Referencia para CMS y 80%CMS.

Figura 4

Diagrama de Kobe con trayectorias 2005-2022 de mortalidad por pesca (F) y biomasa (B) en relación a sus valores sostenibles en la pesquería de pepino de mar en PESCAISLA



Nota. Promedios móviles de tres años

Discusión

Las capturas de pepino de mar *I. badionotus* en la Isla de la Juventud, Cuba, muestran dos periodos marcados fundamentalmente por los factores: cuota de captura, esfuerzo pesquero y abundancia del recurso. En el primer periodo la cuota se basaba principalmente entre un 20 y 25% de la biomasa pescable provocando un esfuerzo pesquero elevado para conseguir las cuotas asignadas. Para el segundo periodo el porcentaje de la biomasa pescable para asignar la cuota de captura disminuyó a un valor de 10, por lo que el esfuerzo pesquero también decrece.

A nivel global, las pesquerías de pepino de mar muestran una alarmante incidencia elevada de sobreexplotación y agotamiento de las poblaciones de este recurso (Purcell et al., 2013). En el análisis realizado por estos autores, se obtuvo que el 20% de las pesquerías están agotadas, el 38% están sobreexplotadas, el 14% plenamente explotadas. Solo el 27% de las pesquerías globales se encuentran subexplotadas o moderadamente explotadas. La mayoría de estas últimas, ocurren en aguas templadas a mayores

profundidades, o se encuentran en fase de desarrollo o bajo moratoria.

Una evaluación anterior de esta pesquería fue realizada por Ortega (2015) con el modelo de producción excedente de Schaefer (1954) en condiciones de equilibrio con información del periodo 2008-2013. Los Puntos de Referencia (PR) obtenidos y la clasificación del estado del recurso difieren notablemente con los resultados actuales logrados con el modelo dinámico de biomasa basado en la versión de Pella y Tomlinson (1969) para la etapa 2005-2021. Ortega (2015) estimó CMS y 2/3CMS en número de pepinos como PR, los cuales, al ser convertidos con el peso promedio de 166 g durante la etapa de su estudio, resultan en 30 y 20 t de CMS y 2/3CMS respectivamente. Los esfuerzos de pesca asociados a estos valores de captura son 94 y 63 días de pesca. Estos PR son superiores a las cifras obtenidas en la presente evaluación de CMS 13 t, 80%CMS 10 t, fCMS 54 días pesca y f80%CMS 27 días pesca. Según Ortega (2015), las capturas en 2009 y 2010 excedieron la CMS y el esfuerzo igualó el nivel sostenible en 2010. Tanto captura como esfuerzo fueron superiores al PR más precautorio de 2/3CMS

durante todo el período 2008-2013. Sin embargo, se concluyó que la acción de la pesca no influyó negativamente sobre la población del recurso, que la variación de la captura estuvo dada fundamentalmente por el efecto de los huracanes Gustav y Ike y por cambios naturales y que la población se encontraba saludable y la pesquería se mantuvo estable durante el período analizado 2008-2013.

Los resultados del presente estudio muestran que la pesquería estuvo en condiciones de sobrepesca entre 2007 y 2019, que la biomasa inicial de la población disminuyó notablemente por la acción de la pesca hasta 2019 y que se encuentra agotada por debajo del nivel sostenible desde 2014. Estas diferencias con la evaluación anterior respecto a los PR y al estado del recurso, son atribuibles al tipo de modelo utilizado (dinámico en lugar de equilibrio), a la información agrupada por temporada natural de pesca, a la captura registrada en peso y a la extensión del período comprendido para el análisis.

Entre los supuestos de los modelos dinámicos de biomasa se encuentran: que los cambios en el esfuerzo pesquero se reflejan inmediatamente en la biomasa y que exista una relación inversa entre el esfuerzo y el índice de abundancia; tratan la población como una unidad homogénea de biomasa, ignorando la estructura por edades, tallas o sexos; asumen que la probabilidad de capturar un ejemplar (capturabilidad) es constante (Haddon, 2011; Hilborn & Walters, 1992;).

La captura del pepino de mar en Cuba se realiza mediante buceo autónomo usando compresor de aire de superficie con cuatro mangueras de hasta 150 m de longitud. Un buzo en cada manguera recoge los pepinos de mar manualmente y los coloca en la jaba de colecta. Este sistema de pesca se ha mantenido invariable durante toda la historia de la pesquería (Alfonso et al., 2004; Frías et al., 2008; Hernández-Betancourt et al., 2018), lo cual hace poco probable que el coeficiente de capturabilidad q haya tenido variaciones significativas debido a cambios en el método de pesca.

En esta pesquería de pepino, la disminución de la CPUE a lo largo de las temporadas y su relación inversa con el esfuerzo pesquero, también cumplen con los supuestos del modelo utilizado y se reflejan en las disminuciones de la biomasa como consecuencia del incremento de la tasa de mortalidad por pesca estimadas por el modelo. En la pesquería de *I. badiotus* en Yucatán, López-Rocha (2011) también encontró una relación inversa y estadísticamente significativa entre la CPUE y el esfuerzo pesquero.

Por su simplicidad y por los pocos datos requeridos, los modelos de biomasa de Schaefer y de Pella y Tomlinson han sido adaptados por Costello y colaboradores (2016), Froese y colaboradores (2017) y Froese y colaboradores (2023), para situaciones de pesquerías con pocos datos o datos limitados, lo cual ha facilitado su amplia utilización a nivel global para evaluar el estado de stocks pesqueros y determinar puntos de referencia para el manejo de sus pesquerías. Branch y colaboradores (2011) realizaron un meta-análisis a 234 stocks de 124 especies, Costello y colaboradores (2016) un meta-análisis de 4713 pesquerías a nivel mundial, Palomares y colaboradores (2020) un meta-análisis a 1320 stocks de 483 especies en 232 ecorregiones marinas. En Cuba, Alzugaray y colaboradores (2023) para evaluar el estado de las pesquerías de 112 stocks de 32 especies de peces y Betanzos-Vega y colaboradores (2024) para el caso del ostión *Crassostrea* spp., determinando puntos de referencia para el manejo basados en la Captura Máxima Sostenible.

En el caso del pepino de mar en Cuba, Hernández-Betancourt y colaboradores (2018) aplicaron satisfactoriamente el modelo dinámico de producción excedente de Schaefer según Hilborn y Walters (1992) y descrito por Haddon (2011) con la serie de captura observada, para evaluar el estado de la población de pepino de mar (*I. badiotus*) al sur de Camagüey, Cuba. Uno de los resultados de esta evaluación fue que se debía aplicar un 10% del potencial pesquero como cuota de captura, en lugar de 20 o 25% para mantener valores sostenibles del recurso. Esta medida, aplicada nacionalmente, pudo conducir al stock de pepino de mar de la Isla de la Juventud a su recuperación, mostrando una tendencia a valores sostenibles de biomasa y al estado de no sobrepesca a partir de 2020.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: Todos los autores

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: Todos los autores

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: AH-B, PCM

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: RPM, AH-B, PCM

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: RPM, AH-B

Materiales suplementarios

Este artículo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Alfonso, I., Frías, M. P., Aleaga, L., & Alonso, C. R. (2004). Current status of the sea cucumber fishery in the south eastern region of Cuba. En A. Lovatelli (comp/ed), C. Conand, S. Purcell, S., S. Uthicke, J. F. Hamel, & A. Mercier (Eds.). FAO AGRIS - International System for Agricultural Science and Technology.
- Alzugaray-Martínez, R., Puga-Millán, R., Valle-Gómez, S., Hernández-Betancourt, A. (2023). Evaluación de pesquerías cubanas con datos limitados: Transición metodológica hacia modelos basados en biomasa y sus implicaciones para el manejo. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 40(2), 64-69.
- Betanzos-Vega, A., Alzugaray-Martínez, R., Puga-Millán, R., Tripp-Quezada, A., Mazón-Suástegui, J. M. (2023). Evaluation of Cuban oyster resource status (*Crassostrea* spp.) and reference points for its management. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 58(3), 177-185.
- Branch, T. A., Jensen, O. P., Ricard, D., Ye, Y., Hilborn, R. A. Y. (2011). Contrasting global trends in marine fishery status obtained from catches and from stock assessments. *Conservation Biology*, 25(4), 777-786. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01687.x>
- Costello, C., Ovando D., Clavelle T., Strauss C. K., Hilborn R., Melnychuk M. C., Branch T.A., Gaines S. D., Szuwalski C. S., Cabral R. B., Rader, D. N., & Leland, A. (2016). Global fishery prospects under contrasting management regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(18), 5125-5129. <https://doi.org/10.1073/pnas.1520420113>
- Espinoza Tenorio, A., Pech, Ramos, J., & Peña-Puch, A. (2012). Una radiografía antes de decidir: El reto del aprovechamiento sustentable del pepino de mar en Campeche. *Investigación Ambiental*, 4(1), 45-50.
- Fox, W. W., Jr. (1970). An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Transaction American Fisheries Society*, 99(1), 80-88. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1970\)99<80:AESMFO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1970)99<80:AESMFO>2.0.CO;2).
- Frías, M. P., Afonso, I., Castelo, R., & Blas, Y. (2008). Variaciones talla-peso del pepino de mar *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) en las regiones sur oriental y sur occidental de Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 25(1), 38-45.
- Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M., & Winker, H. (2017). Estimating fisheries reference points from catch and resilience. *Fish and Fisheries*, 18(3), 506-526.
- Froese, R., Winker, H., Coro, G., Palomares, M. L. D., Tsikliras, A. C., Dimarchopoulou, D., Touloumis, K., Demirel, N., Vianna, G. M. S., Scarcella, G., Schijns, R., Liang, C., Pauly, D. (2023). New developments in the analysis of catch time series as the basis for fish stock assessments: The CMSY++ method. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 53, 173-189. <https://doi.org/10.3897/aiep.53.105910>
- Haddon, M. (2011). Surplus Production Models. *En Modeling and Quantitative, Methods in Fisheries* (2nd ed. pp. 285-333). CRC Press.
- Hernandez-Betancourt, A., Puga Millán, R., Borroto Vejerano, R. (2018). Conservation strategy for the sea cucumber (*Isostichopus badionotus*) fishery in Cuba. *Bulletin of Marine Science*, 94(2), 409-421. <https://doi.org/10.5343/bms.2017.1005>
- Hernández-Flores, A., Cuevas-Jiménez, A., Poot-Salazar, A., Condal, A., Espinoza-Méndez, J. C. (2018). Bioeconomic modeling for a small-scale sea cucumber fishery in Yucatan, Mexico. *PLoS ONE*, 13(1), Artículo e0190857. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190857>
- Hilborn, R., Walters C. J. (1992). *Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty*. Chapman and Hall
- López-Rocha, J. A. (2011, October 31-Novembre 5). *Distribución y abundancia del pepino de mar Isostichopus badionotus, frente a la costa de Sisal Yucatán* [Conferencia] Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Puerto Morelos, Mexico.

- Maunder, M. N., & Aires-da-Silva, A. (2012). *Evaluation of the Kobe Plot and Strategy Matrix and their application to tuna in the EPO*. IATTC Stock Assessment Report 12.
- Ortega, M. (2015). *Evaluación de la pesquería del pepino de mar Isostichopus badionotus (Aspidochirotida: Stichopopidae), al norte de la Isla de la Juventud, Cuba* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas]. Repositorio Digital Institucional. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22357/1/ortegamal.pdf>
- Palomares, M. L. D., Froese, R., Derrick, B., Meeuwig, J. J., Noël, S. L., Tsui, G., Woroniak, J., Zeller, D., & Pauly, D. (2020). Fishery biomass trends of exploited fish populations in marine ecoregions, climatic zones and ocean basins. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, Artículo 106896. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106896>
- Pella, J. J., Tomlinson P. K. (1969). A generalized stock production model. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 13(3), 416-497.
- Perry, R. I., Walters, C. J., & Boutillier, J. A. (1999). A framework for providing scientific advice for the management of new and developing invertebrate fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9, 125-150. <https://doi.org/10.1023/A:1008946522213>
- Purcell, S. W., A. Mercier, C. Conand, J.-F. Hamel, M. V. Toral-Granda, A. Lovatelli, & S. Uthicke. (2013). Sea cucumber fisheries: Global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *FISH and FISHERIES*, 14(1), 34-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00443.x>
- Quinn, G. P., Keough M. J. (2002). Experimental design and data analysis for biologist. *Cambridge University Press*.
- Schaefer, M. B. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to of management commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1(2), 27-56.