



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL
NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**MODELACIÓN BIOECONÓMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LA
PESQUERÍA DE LANGOSTA ESPINOSA *Panulirus argus* (Latreille,
1804) EN EL GOLFO DE BATABANÓ, CUBA**

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Pesquerías)

P r e s e n t a

Rafael Puga Millán

La Paz, B. C. S., octubre 2005

CONFORMACIÓN DE COMITÉS

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Sergio Hernández Vázquez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dr. Julio A. Baisre Álvarez	Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba
Dr. Daniel B. Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dra. Juana López Martínez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dra. Silvia Salas Márquez	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Sergio Hernández Vázquez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dr. Julio A. Baisre Álvarez	Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba
Dr. Daniel B. Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dra. Juana López Martínez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dra. Silvia Salas Márquez	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Sergio Hernández Vázquez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dr. Daniel B. Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dra. Juana López Martínez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dr. Luis Felipe Beltrán Morales	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Dr. Salvador Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Juan Antonio de Anda Montañez (Suplente)	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres.

A mi esposa Elisa, compañera en la vida.

A mi hija María Carla.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por su apoyo financiero mediante la beca #182872 otorgada para la realización de este proyecto de doctorado.

Al Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP) y al Ministerio de la Industria Pesquera de Cuba y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) de México por el soporte técnico y logístico al trabajo que hizo posible esta tesis.

A los integrantes del Comité Tutorial Dr. Julio A. Baisre Álvarez, Dr. Daniel B. Lluch Cota, Dra. Juana López Martínez, y Dra. Silvia Salas Márquez, por sus valiosas orientaciones, en particular a un amigo, el Dr. Sergio Hernández Vázquez, por su exitosa contribución para hacer realidad una idea surgida al calor de intercambios académicos años atrás.

A los amigos en México, representados en los nombres de Armando, Eleazar y María de Jesús, que me ofrecieron sus familias para hacerme sentir como en casa durante las agotadoras estancias de trabajo.

A los amigos y compañeros del CIP, en particular de la Subdirección de Investigaciones de Langosta, por su apoyo y estímulo en todo momento.

Al personal del Programa de Posgrado y a los colegas del Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR por su excelencia.

A mi esposa Elisa, por su ayuda, dedicación y compañía.

RESUMEN

Modelación bioeconómica y análisis de riesgo de la pesquería de langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) en el Golfo de Batabanó, Cuba.

La langosta espinosa *Panulirus argus* es el recurso pesquero de mayor importancia en Cuba, al producir una renta económica alrededor de los 70 millones US\$ anuales como promedio durante el período 2000-2004. Existen 1,280 pescadores y otros 7,840 trabajadores vinculados a la actividad pesquera, industrial y administrativa en la explotación de la langosta, lo que hace un total de 9,120 personas que dependen económicamente de esta actividad. En el Golfo de Batabanó, donde se obtiene el 60% de la captura, la renta económica constituye el 74% de los ingresos, lo cual representó una ganancia de 35.2 millones US\$ anuales como promedio durante los últimos cinco años. Por su relevancia económica, se precisa actualizar y profundizar en los conocimientos sobre el estado de explotación y de abundancia del recurso y evaluar variantes de manejo de su pesquería. Se utilizaron datos de capturas por largos del período 1963-2004, esfuerzo pesquero en días de pesca de 1974 a 2004, precios y costos de 2002 a 2004 y parámetros biológico pesqueros de la especie como crecimiento, tasa de mortalidad natural, maduración y fecundidad, para estudiar la dinámica bioeconómica en la explotación de la langosta del Golfo de Batabanó. Se aplicó un análisis de cohortes basado en las tallas y un análisis secuencial de poblaciones (ASP) basado en la estructura por edad de las capturas, para obtener matrices por año y edad y por tallas, del tamaño de la población, la tasa de mortalidad por pesca, la biomasa y la producción de huevos, así como los ingresos, los costos y la renta económica vinculados a la explotación y comercialización de la especie. Se elaboraron modelos predictivos y se estimaron puntos de referencia bioeconómicos para evaluar las consecuencias de diferentes escenarios de manejo de la pesquería, con alternativas de esfuerzo pesquero y talla (edad) mínima legal de captura, teniendo en cuenta el riesgo debido a la incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad. El esfuerzo pesquero expresado en días de pesca ha variado significativamente en relación con el número de embarcaciones, con fluctuaciones debido a las condiciones económicas y a la duración del período de veda. La tasa de mortalidad por pesca (F), con valores entre 0.18 y 0.50, depende significativamente del esfuerzo pesquero y alcanzó su mayor nivel con anterioridad a 1987, cuando la tasa de explotación estuvo por encima del 50%. En la actualidad, el esfuerzo y la mortalidad por pesca se mantienen en niveles reducidos en correspondencia con la extensión del período de veda de 90 a 120 días desde el año 2002. Las capturas en esta región se mantuvieron alrededor de 7,000 ton en los 1980's, para disminuir a 5,000 ton después de 1990 y a 4,362 ton entre 2000 y 2004, período en que la capturabilidad ha mostrado gran variabilidad, posiblemente debido al incremento en la frecuencia de huracanes que afectaron directamente la zona en ese período. El reclutamiento y el tamaño total de la población disminuyen desde 1983 y 1984 respectivamente, para mantenerse en valores bajos y relativamente estables entre 1991 y 2004. Las relaciones entre el número de huevos y el reclutamiento, débiles pero significativas, sugieren la existencia de mecanismos de denso dependencia controlando la abundancia de los reclutas, posiblemente por la influencia de las condiciones ambientales en las áreas de cría costeras, a través de la disponibilidad de alimento y/o hábitat. De mantenerse el reclutamiento al nivel observado durante la etapa 1991-2004, no deben esperarse volúmenes de captura similares a épocas anteriores como en los 1980's. Una opción para incrementar los ingresos económicos, las capturas y la renta de forma sostenible de acuerdo con el estado actual del recurso, sería incrementar la talla mínima legal y el

esfuerzo pesquero de forma gradual hasta 81 mm largo del cefalotórax (LC) y 22,110 días de pesca, con poco riesgo de disminuir la tasa potencial de desove (TPD) por debajo del punto de referencia límite del 25%. De cualquier forma, es necesario incrementar la talla mínima al menos hasta 74 mm LC. Debido a la variabilidad del reclutamiento y la capturabilidad, se deben esperar capturas entre 4,444 y 5,615 ton y rentas entre 32.4 y 43.7 millones US\$. Para optimizar los beneficios económicos de forma sostenible en la explotación de *P. argus*, el esfuerzo permisible debe ser determinado cuidadosamente cada año, mediante la evaluación del estado del recurso y teniendo en cuenta los objetivos de la pesquería y los intereses de los grupos relacionados con su explotación. Disponer de una herramienta bioeconómica como la desarrollada en este estudio, es esencial para el manejo de la pesquería, donde el objetivo principal debe ser obtener los mayores beneficios económicos de forma sostenible en el tiempo.

Palabras clave: *Panulirus argus*, langosta espinosa, bioeconomía, puntos de referencia, manejo de pesquerías, reclutamiento, Golfo de Batabanó Cuba

ABSTRACT

Bioeconomic modeling and risk assessment of the spiny lobster, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), fishery in the Gulf of Batabanó, Cuba.

The spiny lobster *Panulirus argus* is the major fishery resource in Cuba, which produced an average revenue of about 70 million US\$ a year during 2000-2004. There are 1,280 fishermen and 7,840 workers linked to administrative, industrial and fishery activities in lobster exploitation, which makes a total of 9,120 persons who economically depend on this resource. In the Gulf of Batabanó, where 60% of the catch is obtained, the economic rent constitutes 74% of the revenue, which represented profits about 35.2 million US\$ a year as an average over the last five years. Because of its economic relevance, updating and in-depth studies on exploitation status and abundance of the resource are needed to assess management options in spiny lobster fishery. The following data was used to study bioeconomic dynamics in lobster exploitation in the Gulf of Batabanó: catch from 1963-2004, fishing effort in fishing days from 1974 to 2004, price and cost from 2002 to 2004 and biological parameters of the species such as growth, natural mortality rate, maturity and fecundity. A cohort analysis based on length composition and a sequential population analysis based on catch-at-age structure were applied to obtain yearly data by age and length, of population size, fishing mortality rate, biomass and egg production, as well as total values of revenue, cost and economic profits linked to exploitation and marketing of the species. Predictive models were performed and bioeconomic reference points were estimated to evaluate consequences of different management scenarios, with alternatives in fishing effort and minimum legal size (age), taking into account the risk due to uncertainty in recruitment and catchability. Fishing effort expressed in fishing day has significantly varied related to boat number, with fluctuations due to economic conditions and to length of close season. The fishing mortality rate, with values between 0.18 and 0.50, depends significantly on fishing effort; this rate reached its highest level before 1987 when exploitation rate was over 50%. Currently, effort and fishing mortality rate have maintained reduced levels in correspondence with the close season extension of 90 to 120 days since 2002. Catch in this area was maintained around 7,000 tons in the 1980's, to decrease at 5,000 tons after 1990 and to 4,362 between 2000 and 2004, period in which catchability has shown great variability, possibly due to an increase in frequency of hurricanes that directly affected the area in this period. Recruitment and total size of the population have decreased since 1983 and 1984, respectively, to maintain low and relatively stable values during the period between 1991 and 2004. The relationships between the number of eggs and recruitment – weak but significant – suggest the existence of density-dependent mechanisms that control abundance of recruits, possibly by the influence of environmental conditions in coastal nursery areas, through food and/or habitat availability. If recruitment continues at the observed level during 1991-2004, catch volumes similar to previous years like the 1980's should not be expected. An option to increase revenues, catch and rent in a sustainable way, according to the current state of the resource, would be to gradually increase the minimum legal size and fishing effort up to 81 mm carapace length (CL) and 22,110 fishing days, respectively, with little risk of exceeding the limit reference point of 25% spawning potential rate. Anyway, it is necessary to increase the minimum legal size to at least of 74 mm CL. Due to recruitment and catchability variability, catch of around 4,444 and 5,615 tons and rent between 32.4 and 43.7 million US\$ should be expected. The permitted effort in a year needs to be determined with care so as to optimize the benefits from the *P. argus* fishery in a sustainable way, taking into account the

status of the resource, the objectives for the fishery and the needs of the interest groups. An economic tool as developed in the present study, is essential in fisheries management and maximizing the rent over an indefinite time horizon must be made the primary goal where economic efficiency is the over-riding policy objective.

Key words: *Panulirus argus*, spiny lobster, bioeconomics, reference points, fisheries management, recruitment, Gulf of Batabanó, Cuba

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	iii
RELACIÓN DE ANEXOS.....	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	8
3.1 Objetivo general	8
3.2 Objetivos específicos	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1 Fuente de los datos	8
4.2 Parámetros	9
4.3 Evaluación de la pesquería	9
4.4 Modelos de dinámica de población	13
4.5 Modelo económico	16
4.6 Riesgo e incertidumbre	17
5. RESULTADOS	19
5.1 Aspectos económicos	19
5.2 Capturas	21
5.3 Selectividad	23
5.4 Esfuerzo, mortalidad por pesca y capturabilidad	25
5.5 Reclutamiento	29
5.6 Población y desove	31
5.7 Relación stock-reclutamiento	33
5.8 Puntos de referencia	35
5.9 Incertidumbre	42
5.10 Opciones de manejo	44
5.11 Análisis de riesgo	51
6. DISCUSIÓN	52
7. CONCLUSIONES	70

8. REFERENCIAS	72
9. ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. La langosta espinosa *Panulirus argus*.

Fig. 2. Ubicación del Golfo de Batabanó, región noroccidental de Cuba.

Fig. 3. Variación anual de captura en la pesquería de langosta en Cuba.

Fig. 4. (A) Proporciones de la captura y (B) precios a la edad, para los principales productos de exportación.

Fig. 5. Variación anual de captura en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó.

Fig. 6. Frecuencias porcentuales (A) por edades y (B) por largos, de las capturas en número.

Fig. 7. Patrones de explotación (A) por edades y (B) por largos, mostrando la edad y el largo del 50% de selección.

Fig. 8. (A) Variación anual de dos indicadores de esfuerzo pesquero y (B) correlación entre ambos.

Fig. 9. Variación anual del índice de días de pesca por barco.

Fig. 10. (A) Variaciones anuales del esfuerzo pesquero en días de pesca y de la tasa de mortalidad por pesca y (B) correlación entre ambos.

Fig. 11. Variación anual del coeficiente de capturabilidad.

Fig. 12. (A) Variaciones anuales del reclutamiento y (B) comparación con dos índices independientes.

Fig. 13. Relación entre el reclutamiento y la captura con dos años de desfase.

Fig. 14. Variaciones anuales de (A) tamaño de la población y biomasa total, (B) número de huevos y biomasa de langostas con 4 y más años de edad.

Fig. 15. Curvas de relaciones S-R entre el número de huevos y el reclutamiento con un año de desfase.

Fig. 16. (A) Reclutamientos observados y estimados por el modelo S-R de Shepherd y (B) residuales del ajuste.

Fig. 17. Curvas de equilibrio del modelo basado en edades en función del esfuerzo. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para $F_{0.1}$, Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas. (A) Captura e ingresos, (B) renta y costos.

Fig. 18. Curvas de equilibrio de las tasas potenciales de desove y biomasa del modelo basado en edades en función del esfuerzo. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para $F_{0.1}$, Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

Fig. 19. Curvas de equilibrio de la renta y la captura en función (A) de la edad y (B) del largo de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

Fig. 20. Curvas de equilibrio de la tasa potencial de desove en función (A) de la edad y (B) del largo de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

Fig. 21. Isopletras (A) de la renta (US\$ x 10⁶) y (B) de la tasa potencial de desove (% de huevos), en función del esfuerzo y de la edad de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y punto de referencia para Máximo Rendimiento Económico representado por un cuadrado.

Fig. 22. Resultados de 300 corridas del ASP con remuestreo “bootstrap”. (A) Reclutamiento y (B) capturabilidad.

Fig. 23. Ajuste de la función de probabilidades de valores extremos a la distribución de frecuencias del reclutamiento.

Fig. 24. Ajuste de la función de probabilidades lognormal a la distribución de frecuencias de la capturabilidad.

Fig. 25. Capturas observadas y estimadas por el modelo teniendo en cuenta incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad.

Fig. 26. Patrones de explotación teóricos a la edad, utilizados para simular el efecto de cambios en la talla mínima legal de captura.

Fig. 27. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Captura y (B) ingresos.

Fig. 28. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Costos y (B) renta.

Fig. 29. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Proporción de la biomasa no explotada y (B) tasa potencial de desove.

Fig. 30. Probabilidades de sobrepasar el punto de referencia límite de TPD < 25% con tres escenarios de manejo de la pesquería.

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Proporción de la captura destinada a cada producto, factores de conversión en el procesamiento industrial y precios medios de exportación en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó

Tabla II. Parámetros y resultados económicos para la situación promedio de la pesquería durante el período 2000-2004

Tabla III. Correlaciones entre los índices de abundancia (cpue en número) y el tamaño de la población por edad estimado por el ASP

Tabla IV. Coeficientes y grados de ajuste de las relaciones stock-reclutamiento entre el número de huevos y el reclutamiento (N1) con un año de desfase

Tabla V. Situación actual de la pesquería y puntos de referencia estimados por el modelo basado en la edad

Tabla VI. Tres escenarios para el manejo de la pesquería durante el período 2005-2014

Tabla VII. Capturas y rentas esperadas para el año 2014 con tres escenarios de manejo considerando incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad

Tabla VIII. Tallas mínimas legales por países, de la langosta *P. argus* (FAO, 2003)

Tabla IX. Estimados de captura (ton) al nivel de MRS

RELACIÓN DE ANEXOS

Puga, R., Hernández-Vázquez, S., López-Martínez, J., León, M.E. de, 2005. Bioeconomic modelling and risk assessment of the Cuban fishery for spiny lobster *Panulirus argus*. Fish. Res. 75(1-3), 149-163.

Puga, R., Lluch-Cota, D., Hernández-Vázquez, S., López-Martínez, J., León, M.E. de, (Sometido). Puntos de referencia para el manejo de la pesquería de langosta espinosa *Panulirus argus* en el Golfo de Batabanó, Cuba. (Sometido a Ciencias Marinas)

1. INTRODUCCIÓN

La especie objeto de este estudio, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), es una langosta del tipo espinosa o de roca. Según Holthius (1991) está ubicada taxonómicamente en el Phylum Crustacea, Clase Malacostraca, Orden Decapoda, Familia Palinuridae y su nombre común más utilizado es langosta espinosa, aunque también se le conoce como langosta común del Caribe. Entre sus características generales se encuentran: primer par de patas sin pinzas, carapacho casi cilíndrico, antenas largas en forma de látigos, ojos pedunculados, dos cuernos en la región frontal y presenta dos pares de manchas blancas grandes en los segmentos abdominales segundo y cuarto (Fig. 1).

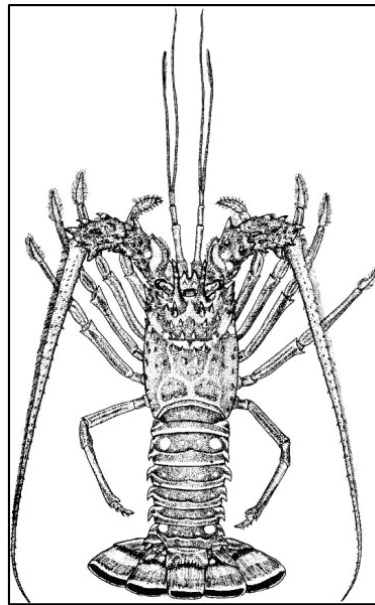


Fig. 1. La langosta espinosa *Panulirus argus*.

Se distribuye desde Brasil a través del Caribe y el Golfo de México, hasta Islas Bermudas y las costas de Carolina del Norte (Holthius, 1991). Como promedio para el período 1997-2001, Puga y León (2003 a) reportaron que la explotación de este importante recurso pesquero en la región, produjo capturas e ingresos económicos alrededor de 37,622 ton y 300

millones US\$ respectivamente, proporcionando empleo para unos 58,700 pescadores y 19,4600 trabajadores, lo cual representa un total de 25,3300 personas relacionadas laboralmente con esta actividad.

P. argus se encuentra distribuida en todas las zonas de la plataforma cubana, asociada a fondos con abundante vegetación submarina y sustratos areno-rocosos con formaciones coralinas. Es particularmente abundante en el Golfo de Batabanó, región suroccidental de Cuba (Fig. 2), donde sus capturas se realizan por tres empresas pesqueras y representan el 60% del total nacional.

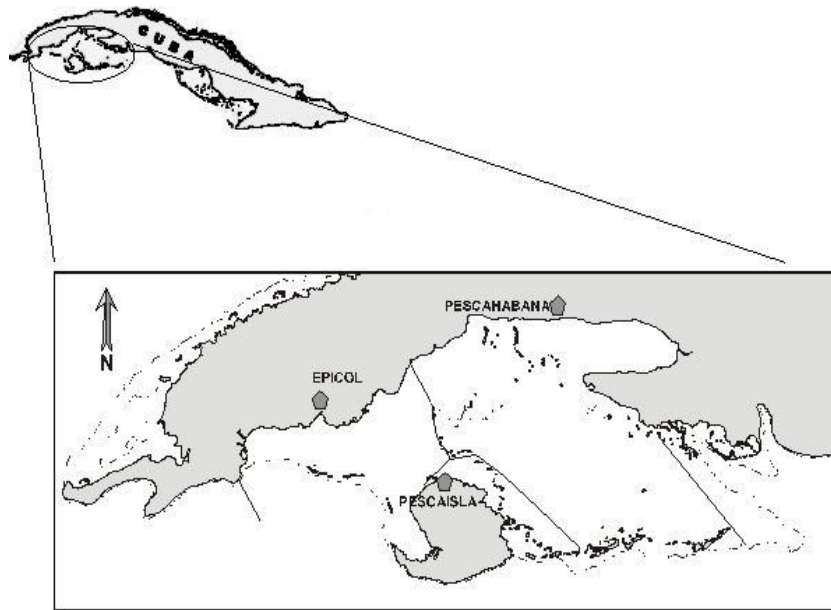


Fig. 2. Ubicación del Golfo de Batabanó, región noroccidental de Cuba.

El Golfo de Batabanó presenta características de una gran laguna arrecifal, con un área aproximada de 20,850 km² y profundidad muy estable alrededor de los 6 m, existen gran cantidad de cayos y zonas bajas en su interior que proporcionan refugio a los juveniles (León *et al.*, 1991 a), abundantes praderas de vegetación, principalmente la fanerógama *Thalassia*

testudinum (Páez y Revilla, 1991), donde la langosta encuentra organismos bentónicos que le sirven de alimento (Herrera *et al.*, 1991) y está rodeado de cayos y arrecifes coralinos, estos últimos importantes como refugio natural y protección contra los depredadores.

Debido a su abundancia y valor comercial, esta especie ha sido objeto de estudio desde muy temprano en Cuba, pudiendo citarse los trabajos de Baisre y Ruiz de Quevedo (1964) sobre larvas filosomas y de Buesa (1965) sobre biología. Las numerosas investigaciones realizadas han aportado conocimientos sobre el ciclo de vida de la especie que de forma resumida puede enunciarse como: un desove principal entre febrero y mayo con mayor intensidad al borde de la plataforma (Cruz y León, 1991); deriva larvaria oceánica con duración de 6 a 8 meses (Baisre, 1976; Alfonso *et al.*, 1991); un pico de entrada de puerulos a la plataforma entre septiembre y noviembre (Cruz *et al.*, 1991 a); incorporación de los juveniles a las áreas de cría someras entre julio y agosto (León *et al.*, 1991 a); un pico de reclutamiento al área de pesca entre marzo y mayo y entrada de los reclutas a la pesquería en mayo-junio con una edad aproximada de 2.25 años (Cruz *et al.*, 1991 a).

Los sobrevivientes a la pesca y a la mortalidad natural en áreas poco profundas continúan creciendo y migrando hacia el borde de la plataforma (González *et al.*, 1991), hasta alcanzar la talla de primera maduración a los 81 mm largo del cefalotórax (LC), entre los 3 y 4 años de edad (Cruz y León, 1991). Las langostas más grandes que logran alcanzar profundidades inaccesibles a la pesquería, pueden mantenerse en áreas profundas con poca probabilidad de regresar a zonas de pesca (González *et al.*, 1991), independientemente de las migraciones masivas que la especie realiza en respuesta a los cambios climáticos originados por los primeros frentes fríos o tormentas tropicales de los meses otoñales, comportamiento descrito por Herrkind y Kanciruk (1978) y estudiado en Cuba por García *et al.* (1991 b).

La historia de esta pesquería en Cuba es relatada por Baisre (2000 a), quien plantea que durante la primera mitad del siglo XX las capturas eran inferiores a las 1,000 ton, para crecer al final de los años 1950's por el alto precio del producto en el mercado estadounidense. El desarrollo de esta pesquería (Fig. 3), motivó que se obtuvieran promedios anuales de 7,895 ton entre 1956 y 1977 en la fase de crecimiento, 11,565 ton entre 1978 y 1989 en la fase de madurez y 8,845 ton entre 1990 y 2000 en la fase de estabilización (Puga *et al.*, 2003).

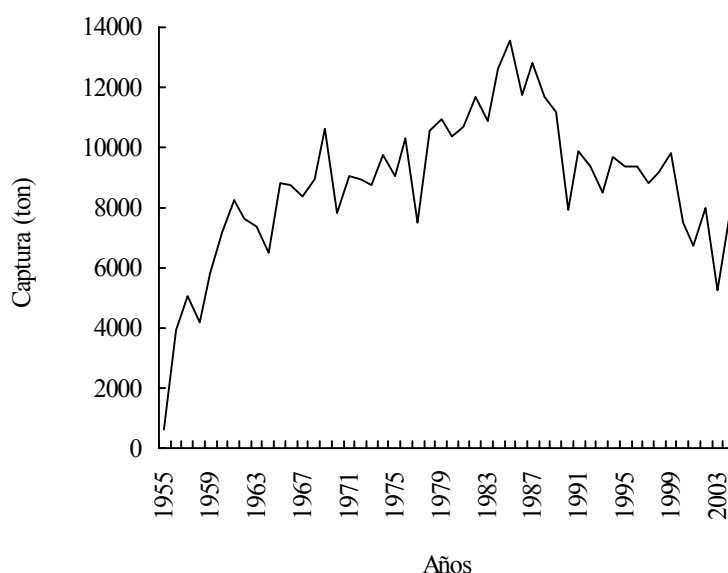


Fig. 3. Variación anual de captura en la pesquería de langosta en Cuba.

La langosta es el recurso pesquero de mayor importancia en Cuba por su elevado valor comercial. Sus capturas representan el 22% del total obtenido en la plataforma, pero sus ingresos económicos han estado alrededor de los 72 millones US\$ anuales como promedio durante el período 2000-2004, lo cual representa el 72% de los ingresos totales del Ministerio de la Industria Pesquera. Desde el punto de vista social, existen unos 1,280 pescadores y otros

7,840 trabajadores vinculados a la actividad pesquera, industrial y administrativa en su explotación, para un total de 9,120 personas que dependen económicamente de esta actividad.

El producto de la pesquería es destinado en casi su totalidad para la exportación, principalmente a Japón, Francia, España, Italia y Canadá. Alrededor del 55% de la captura se destina a la producción de langosta entera cocida, el 28% a colas congeladas y el resto a otros productos como langosta entera cruda y langosta viva.

En el Golfo de Batabanó, la pesquería se realiza en la actualidad con la participación de 117 barcos, mediante la operación de unos 143,000 arrecifes artificiales que proporcionan refugio a las langostas y 12,000 jaulones o trampas con redes, aprovechando los movimientos de las langostas durante la migración masiva otoñal. Los métodos, artes e implementos de pesca utilizados en esta pesquería han sido descritos anteriormente por Cruz *et al.* (1990), Cruz y Phillips (1994) y Baisre (2000 a).

2. ANTECEDENTES

Debido a la importancia económica de esta pesquería, han sido varios los estudios que se han realizado durante su desarrollo, para mantener actualizada la información sobre su estado de explotación y recomendar las medidas de manejo adecuadas en correspondencia con su situación más reciente. Pueden citarse trabajos basados en análisis de población virtual (León *et al.*, 1991 b; Puga *et al.*, 1991, 1992, 1993, 1996), análisis de rendimiento por recluta (Puga *et al.*, 1995), y modelos de producción excedente (Puga *et al.*, 2003).

Los resultados obtenidos han permitido elaborar modelos y realizar análisis bioeconómicos (Puga, 1996; Seijo *et al.*, 2001) como en los casos de las pesquerías de las langostas *Jasus edwardsii* en Nueva Zelanda (Breen *et al.*, 2000), *P. marginatus* en Hawaii

(Clarke *et al.*, 1992), y *P. argus* en Florida (Walter *et al.*, 1999), México y Brasil (Seijo *et al.*, 1991; Seijo *et al.*, 2001). Recientemente, Puga *et al.* (2005) incorporaron el análisis de riesgo en la evaluación de opciones de manejo de la pesquería.

En Cuba, las medidas regulatorias se han ido adaptando y modificando en el tiempo de acuerdo con la situación reciente del recurso. En la actualidad, el proceso de toma de decisiones para el manejo de la pesquería (Puga y León, 2003 b), se basa sobre los siguientes aspectos principales:

El Decreto-Ley No. 164 “Reglamento de Pesca” aprobado por el Consejo de Estado de la República de Cuba en 1996. La Comisión Consultiva de Pesca, que es el órgano asesor y de consulta, para el establecimiento de regulaciones, la cual está integrada por directivos del Ministerio de la Industria Pesquera, representantes de pescadores comerciales y deportivos, empresas estatales, universidades, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y otras instituciones relacionadas con los recursos pesqueros marinos y acuáticos en general, como el turismo, la minería y el transporte. El Centro de Investigaciones Pesqueras colecta la información biológico-pesquera generada durante la explotación del recurso y por el sistema implementado para su monitoreo biológico, la procesa y analiza científicamente, para evaluar el estado de explotación y proponer las medidas de regulación pesquera. Las medidas propuestas se estudian para su aprobación en la Comisión Consultiva de Pesca y finalmente son aprobadas por el Ministro de la Industria Pesquera. La Dirección de Regulaciones Pesqueras se encarga de la implementación de las resoluciones y las medidas de manejo, y la Oficina de Inspección Pesquera es la responsable del control y vigilancia mediante un cuerpo de inspectores.

Las principales medidas regulatorias vigentes para el manejo de la pesquería son:

1. Régimen de propiedad estatal, el estado es propietario del recurso y de todas las instalaciones y medios vinculados con su explotación, o sea, barcos, artes de pesca, plantas de procesamiento. La captura de langosta no está permitida a pescadores deportivos o particulares.
2. Acceso controlado y limitado a la pesquería en barcos, pescadores y artes de pesca.
3. División territorial por empresas de pesca y por microzonas, en las cuales operan un número determinado de embarcaciones.
4. Veda de 4 meses entre febrero y junio para proteger los picos principales de desove y de reclutamiento de preadultos al área de pesca. Las fechas de inicio y final pueden variar en dependencia de la región de pesca.
5. Talla mínima legal de 69 mm largo cefalotórax hasta el año 2004. Actualmente se están aplicando medidas para incrementarla paulatinamente.
6. Prohibición de pescar en las principales áreas de cría.
7. Prohibición de desembarcar hembras con cualquier señal externa de actividad reproductiva, portando huevos o con masa espermatófora.
8. Prohibición de utilizar artes de pesca lacerantes como ganchos.

Según Troadec (1976): "Para obtener un mayor provecho de la explotación de un recurso, sería conveniente al menos estar en condiciones de regular la pesca de acuerdo con las variaciones de la abundancia de las poblaciones. La evaluación de las poblaciones debe ser considerada entonces como una tarea permanente, donde los estimados son constantemente reajustados y precisados".

Hillborn y Walters (1992) consideran que la evaluación de poblaciones consiste en hacer predicciones cuantitativas sobre la respuesta de los recursos pesqueros ante acciones alternativas de manejo, para ayudar a los administradores en la elección de una estrategia dirigida a alcanzar un objetivo determinado.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Recomendar un sistema de manejo sostenible biológica y económicamente para una pesquería responsable de la langosta en el Golfo de Batabanó, mediante la evaluación de alternativas que tengan en cuenta el estado de explotación del recurso y el riesgo debido a la incertidumbre.

3.2 Objetivos específicos

Evaluar biológica y económicamente el estado actual del recurso.

Caracterizar la dinámica de la población.

Definir criterios de ordenamiento de la pesquería.

Evaluar el impacto de estrategias alternativas de manejo teniendo en cuenta la variabilidad en parámetros con determinados niveles de incertidumbre.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Fuente de los datos

A partir de las estadísticas de las tres empresas pesqueras que operan en el Golfo de Batabanó y de la empresa encargada de las exportaciones, se dispone de información sobre

captura, esfuerzo, clasificación industrial por grupos de peso y productos de las langostas, costos y precios de exportación.

El esfuerzo pesquero en días de pesca y número de barcos está disponible desde 1974 y las capturas por regiones de pesca desde 1955, pero el análisis de la dinámica poblacional se limitó al período 1963-2004, para el cual se cuenta con la composición por tallas de las capturas, obtenidas según la metodología descrita por Alfonso *et al.* (1995) a partir de la clasificación industrial para la exportación en las plantas de procesamiento. Para calcular los ingresos y los costos, se contó con los precios de exportación por productos y tallas y los costos unitarios correspondientes al período 2002-2004. Las proporciones de la captura destinada a cada tipo de producto por tallas, fueron calculadas con los volúmenes procesados en la industria durante el período 2000-2004.

4.2 Parámetros

Los parámetros de crecimiento utilizados fueron los calculados por León *et al.* (1995), considerados como los más consistentes para la especie en el área (Arce y León, 2001).

$L_{\infty} = 185$, $K = 0.23$ y $t_0 = 0.44$ para machos

$L_{\infty} = 155$, $K = 0.19$ y $t_0 = 0.37$ para hembras

donde L_{∞} , K y t_0 son el largo asíntotico del cefalotórax en mm, la tasa instantánea de crecimiento y la edad en años al largo cero, de la ecuación de von Bertalanffy

La tasa instantánea de mortalidad natural fue estimada como $M = 0.34$ a partir de la ecuación empírica propuesta por Cruz *et al.* (1981), que relaciona la temperatura media del agua ($T = 27^{\circ} \text{C}$) y los parámetros de crecimiento, con la mortalidad natural de varias especies de langosta, de forma similar a la ecuación desarrollada para peces por Pauly (1980).

$$M = - 0.02777 - 0.0004 L_{\infty} + 0.5397 K + 0.0119 T$$

Existe también un estimado de $M = 0.36$ obtenido por Medley y Ninnes (1997) utilizando datos de captura y esfuerzo en Islas Turcos y Caicos.

Las conversiones entre largo o edad y el peso, fueron realizadas con la relación largo-peso de Cruz *et al.* (1981).

$$W = 0.00243 LC^{2.764}$$

donde W es el peso total en g y LC el largo del cefalotórax en mm.

La producción de huevos como índice del stock de desove fue calculada a partir de las relaciones del largo con la maduración y la fecundidad presentadas por Cruz y León (1991), teniendo en cuenta que las hembras mayores de 80 mm LC producen dos desoves anuales (Lipcius, 1985).

$$H = 0.5911 LC^{2.9866}$$

donde H es el número de huevos y LC el largo del cefalotórax en mm de las hembras.

Los parámetros económicos fueron calculados siguiendo las metodologías de Anderson (1986), Hannesson (1993), Sparre y Willman (1993) y Seijo *et al.* (1998). El costo variable asociado al esfuerzo pesquero en días de pesca, incluyó los consumos de combustible, lubricantes, materiales, hielo, alimentos y el salario de los tripulantes. Para el costo fijo relacionado con el número de embarcaciones, se tuvieron en cuenta la amortización de los barcos, los artes de pesca y las instalaciones, el salario del personal administrativo y los gastos en tierra, así como el costo de oportunidad. Según las definiciones y las recomendaciones de Sparre y Willman (1993) y Seijo *et al.* (1998), el costo de oportunidad de un proyecto es lo que se dejó de ganar en la siguiente mejor alternativa por haber adoptado el proyecto en cuestión y fue calculado como el 11% del capital invertido, ya que esta es la tasa de interés utilizada por el sector bancario en Cuba. De forma similar, Breen *et al.* (2000) utilizaron una

tasa de interés del 10% para el cálculo del costo de oportunidad en la pesquería de *J. edwardsii* en Nueva Zelanda. Por último, los costos de procesamiento asociados a la captura, fueron calculados a partir de los gastos de transportación y comercialización, del salario de los trabajadores de las plantas de proceso y del consumo de materiales, energía eléctrica, combustibles y lubricantes.

4.3 Evaluación de la pesquería

Las frecuencias de tallas de las capturas fueron agrupadas en intervalos de 5 mm de largo del cefalotórax y posteriormente convertidas a edades mediante el método de rebanado propuesto por Sparre y Venema (1997).

Con la estructura por tallas promedio del período 2000-2004 como representación del estado actual del recurso, se efectuó un análisis de cohortes basado en las tallas (Jones, 1984), con el cual se obtuvieron resultados en función del largo de la tasa instantánea de mortalidad por pesca (F), el número de langostas en la población y el número de huevos.

A partir de la matriz de captura a las edades entre 1 y 9+ años para el período 1963-2004, se aplicó un análisis secuencial de poblaciones (ASP) mediante el método ADAPT descrito por Gavaris (1988) con la modificación propuesta por MacCall (1986), la cual permite mejores ajustes cuando los valores de M son superiores a 0.30.

$$N_{a,t} = C_{a,t} / (F_{a,t} / (F_{a,t} + M)) (1 - e^{-(F_{a,t} + M)})$$
 para todas las edades del año 2004 y la última edad de todos los años.

$$N_{a,t} = (N_{a+1,t+1} e^M) + C_{a,t} (M / (1 - e^{-M}))$$
 para el resto de las edades y años.

$$F_{a,t} = \ln(N_{a,t} / N_{a+1,t+1}) - M$$

donde $N_{a,t}$ es el número de individuos con edad a al inicio del año t , $C_{a,t}$ y $F_{a,t}$ son la captura y la mortalidad por pesca a la edad a durante el año t , y M es la mortalidad natural.

Los cálculos para obtener matrices por año y edad de la mortalidad por pesca, el número de langostas y el número de huevos, se realizaron con la hoja de cálculo de Microsoft Excel propuesta por Lassen y Medley (2000).

Como índice de abundancia para ajustar el ASP se utilizaron las capturas por unidad de esfuerzo (cpue) por edades y años del período 1974-2004, expresadas en número de langostas por día de pesca. El ajuste se realizó minimizando una función objetivo compuesta por la suma de cuadrados de los errores de los logaritmos de la matriz del índice de proporcionalidad entre el tamaño de la población (N) y del índice de abundancia (cpue) por edades, en relación con el valor promedio a cada edad. A este índice se la llama capturabilidad (q). Dado que la relación entre el índice de abundancia y el tamaño de la población se expresa como:

$$cpue_{(a,t)} = q_{(a,t)} N_{(a,t)}$$

donde $cpue_{(a,t)}$, $q_{(a,t)}$ y $N_{(a,t)}$ son la captura por unidad de esfuerzo, el coeficiente de capturabilidad y el número de langostas en la población, de la edad a en el año t .

Entonces:

$$\ln(q_{(a,t)}) = \ln(cpue_{(a,t)}) - \ln(Nq_{(a,t)})$$

y la función objetivo queda como:

$$\sum [\ln(q_{(a,t)}) - \ln(q_{(a)})]^2$$

donde $\ln(q_{(a)})$ es el valor promedio para cada edad a durante el período 1974-2004.

La optimización de la función objetivo se realizó variando la mortalidad por pesca de la edad 8 en el último año (2004). Las F del grupo 9+ en cada año se asumen como iguales a la edad 8, mientras que las F de las edades 1-7 para el último año (2004) fueron estimadas mediante la relación con la edad 8 durante el período 1998-2002.

4.4 Modelos de dinámica de población

Con los resultados del análisis de cohortes de Jones y del ASP se elaboraron modelos predictivos basado en las tallas y las edades siguiendo la metodología clásica de Thompson y Bell (1934), la cual es ampliamente utilizada para evaluar los efectos en la pesquería debidos a cambios en la mortalidad por pesca tanto global como por tallas (Sanders, 1995; Sparre y Venema, 1997).

Para modelar las variaciones de F por largos y edades en función de cambios en el esfuerzo pesquero (f), se utilizaron los patrones de explotación y las capturabilidades promedio del período 2000-2004. Los patrones de explotación obtenidos, calculados como las relaciones de las F por largos y edades entre la F máxima respectiva, permitieron estimar curvas de selectividad teóricas siguiendo la metodología descrita por Sparre y Venema (1997) para combinar dos curvas logísticas, una ascendente al lado izquierdo y otra descendente al lado derecho.

El patrón de explotación por largo o edad se calculó como:

$$s_a = F_a / F_{amax}$$

donde F_a es la mortalidad por pesca a la edad a y F_{amax} el valor máximo de F_a en el rango total de edades (promedios del período 2000-2004).

Los valores observados de s_a son entonces ajustados a la curva teórica:

$$s = (1/1 + \exp(s1 - s2 a)) (1/1 + \exp(d1 - d2 a))$$

donde $s1$ y $s2$ son los parámetros del lado derecho y $d1$ y $d2$ del lado izquierdo de la curva.

Las edades de 50 y 75% de selección se calculan como:

$$a_{50\%} = s1 / s2$$

$$a_{75\%} = (s_1 + \ln 3) / s_2$$

Para evaluar el efecto de cambios en la talla (edad) mínima legal de captura, y por lo tanto en la talla (edad) de 50%, la curva teórica del patrón de explotación puede ser calculada en función de las edades de 50 y 75% de retención:

$$s_1 = (a_{50\%} \ln 3) / (a_{75\%} - a_{50\%})$$

$$s_2 = s_1 / a_{50\%}$$

Para la proyección del número de langostas en los modelos predictivos, se consideraron como reclutamientos constantes, el número de ejemplares promedio de la etapa 2000-2004 del grupo de talla menor, y en el caso de la edad, el promedio de langostas con un año de edad durante el período 1991-2004.

La relación stock-reclutamiento (S-R) fue examinada mediante regresión no lineal entre la serie del número de langostas con un año de edad y el número de huevos producido el año anterior, variables resultantes del ASP para el período 1963-2004. Los modelos de relaciones S-R ajustados fueron los siguientes:

$$\text{Deriso-Schnute (Schnute, 1985), } N_{1,t+1} = \alpha S_t (1 - \beta \gamma S)^{1/\gamma}$$

donde $N_{1,t+1}$ es el número de langostas con un año de edad al inicio del año $t+1$, α β γ son los parámetros de la relación stock-reclutamiento y S_t es el número de huevos en el año t .

$$\text{Ricker (1954), } N_{1,t+1} = \alpha S_t e^{-\beta S_t}$$

$$\text{Beverton y Holt (1957), } N_{1,t+1} = \alpha S_t / (1 + \beta S_t)$$

$$\text{Shepherd (1982), } N_{1,t+1} = \alpha S_t / (1 + \beta S_t^\gamma)$$

$$\text{Gamma (Reish } et al., 1985), N_{1,t+1} = \alpha S_t^\gamma e^{-\beta S_t}$$

El número de huevos cada año se calculó como:

$$S_t = \sum N F_{a,t} H_a$$

donde $N_{a,t}$ es el número de hembras con huevos de la edad a al inicio del año t , y H_a es el número de huevos que produce cada hembra a la edad a .

Las tasas potenciales de desove (TPD) y de biomasa fueron calculadas como el porcentaje del número de huevos y de biomasa para determinados niveles de mortalidad por pesca o talla de primera captura, en relación con los valores en ausencia de explotación pesquera.

Los modelos predictivos fueron utilizados para evaluar el efecto a largo plazo en las curvas de equilibrio de las variables de salida (captura, ingresos, costos, renta económica, biomasa y TPD), en función de cambios en el esfuerzo pesquero y de la talla (edad) de primera captura. El modelo basado en la edad permitió también realizar predicciones anuales a corto y mediano plazo, mediante la proyección de la estructura de edad del año 2004, considerando diferentes escenarios de esfuerzo y de talla (edad) mínima legal.

Las ecuaciones básicas que describen la dinámica de la pesquería son:

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} e^{-(F_{a,t} + M)}$$

donde $N_{a,t}$ es el número de individuos con edad a al inicio del año t , $F_{a,t}$ es la mortalidad por pesca por edad a durante el año t , y M es la mortalidad natural.

Las mortalidades por pesca por edad a y año t ($F_{a,t}$) fueron calculadas como:

$$F_{a,t} = s_{amax} F_{amax,t}$$

donde s_{amax} es el patrón de explotación relativo a la edad donde se alcanza la F máxima y $F_{amax,t}$ es la mortalidad por pesca máxima a la edad en el año t .

$$F_{amax,t} = f_t q_{amax}$$

donde f_t es el esfuerzo pesquero en el año t y q_{amax} es el coeficiente de capturabilidad promedio durante el período 2000-2004, para la edad donde se alcanza la F máxima.

La captura (C_t) se estimó suponiendo que es obtenida de forma instantánea en medio del año como:

$$C_t = \sum((N_{a,t} - N_{a+1,t+1}) (F_{a,t}/(F_{a,t} + M))) W_a$$

donde W_a es el peso medio a la edad a .

4.5 Modelo económico

Los ingresos totales en la explotación de la langosta (IT_t) se estimaron como:

$$IT_t = C_t \sum PC_{a,p} FC_p P_{a,p}$$

donde C_t es la captura del año t , $PC_{a,p}$ son las proporciones de la captura por edad a destinada a los diferentes productos de exportación p , FC_p son los factores de conversión de la materia prima a cada producto de exportación y $P_{a,p}$ son los precios de exportación por edad y producto.

Los costos totales (CT_t) fueron calculados como:

$$CT_t = CV_f f_t + CF_b b_t + CP_c C_t$$

Donde CV_f es el costo variable por unidad de esfuerzo, f_t es el esfuerzo en días de pesca en el año t , CF_b es el costo fijo por barco, b_t es el número de barcos en el año t , CP_c es el costo de procesamiento por tonelada de captura, C_t es la captura en el año t .

De forma similar, en la pesquería de *J. edwardsii* en Nueva Zelanda, Breen *et al.* (2000) calcularon el costo variable en función de la mortalidad por pesca y el costo fijo en función del capital.

La renta (RT_t) de esta pesquería fue calculada entonces como la diferencia entre los ingresos y los costos:

$$RT_t = IT_t - CT_t$$

4.6 Riesgo e incertidumbre

En todo momento se asumió que los parámetros utilizados para las determinaciones de edad, la mortalidad natural, la producción de huevos y la renta económica, se conocían con exactitud.

Las versiones en equilibrio de los modelos fueron utilizados de modo determinístico, con el objetivo de estimar puntos de referencia bioeconómicos para el manejo de la pesquería, según recomiendan Caddy y Mahon (1996) y Caddy (1998).

El modelo basado en la edad fue utilizado en una variante estocástica para tener en cuenta la variabilidad en parámetros de entrada y evaluar el riesgo de alcanzar y/o sobrepasar los puntos de referencia para el manejo de la pesquería a corto y mediano plazo. Se realizaron 2000 corridas mediante el método de simulación de Monte Carlo (Manly, 1991) teniendo en cuenta incertidumbre en parámetros de entrada del modelo, como recomiendan Restrepo *et al.* (1992), Francis y Shotton (1997) y Seijo y Caddy (2000).

Los parámetros considerados con incertidumbre fueron el reclutamiento y la capturabilidad. Para determinar las funciones de densidad probabilística y la variabilidad de ambos parámetros, el ajuste del ASP se realizó para un total de 300 corridas mediante la técnica de remuestreo “bootstrap” (Efron, 1979). Para ello se remuestrearon aleatoriamente y con reemplazo los errores de los logaritmos de la matriz de capturabilidad descrita anteriormente en el proceso de ajuste del ASP. En cada corrida, estos errores fueron asignados a la matriz de cpue, para generar nuevos valores de este índice, de forma similar al procedimiento que ejemplifica Haddon (2001) para la captura en número en un caso de Análisis Integrado Estadístico de Captura a la Edad (Punt *et al.*, 2001).

Se colectaron los valores resultantes de reclutamiento y capturabilidad de las 300 corridas para el período comprendido entre 1991 y 2004, lo cual permitió obtener un total de 4,200 valores de cada uno de estos dos parámetros para su análisis estadístico. La selección de la función de probabilidades que mejor se ajustó a las distribuciones de frecuencias del reclutamiento y la capturabilidad, se realizó mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

La evaluación del riesgo de sobrepasar un punto de referencia límite con tres opciones de manejo de la pesquería, se realizó cuantificando la probabilidad de que la tasa potencial de desove disminuyera por debajo del 25%.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa STATISTICA (StatSoft, 2001).

5. RESULTADOS

5.1 Aspectos económicos

El 55.1% de la captura se procesa como langosta entera cocida siguiéndole en orden de importancia las colas crudas (28.4%) y en menor proporción la langosta entera cruda y la langosta viva, productos que tienen diferentes precios medios en el mercado internacional (Tabla I).

Tabla I. Proporción de la captura destinada a cada producto, factores de conversión en el procesamiento industrial y precios medios de exportación en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó

Producto	Proporción de la captura	Factor de conversión de materia prima	Precio (US\$/kg)
Entera cocida	0.551	0.926	13.56
Cola cruda	0.284	0.333	31.60
Entera cruda	0.068	0.980	13.52
Viva	0.013	1.000	12.77

La exportación de estos productos a los mercados fundamentales de Japón, Francia, España, Italia y Canadá, se realiza en diferentes surtidos de tallas, mediante la clasificación en las plantas industriales ubicadas en cada una de las tres empresas pesqueras que operan en la región. Las langostas entre 1 y 5 años de edad son procesadas fundamentalmente como entera cocida, mientras que las mayores de 6 años son comercializadas como cola cruda (Fig. 4A), debido a que este producto mantiene un precio estable para las langostas más grandes, a diferencia de los otros productos donde el precio tiende a disminuir en función del tamaño y por lo tanto de la edad (Fig. 4B).

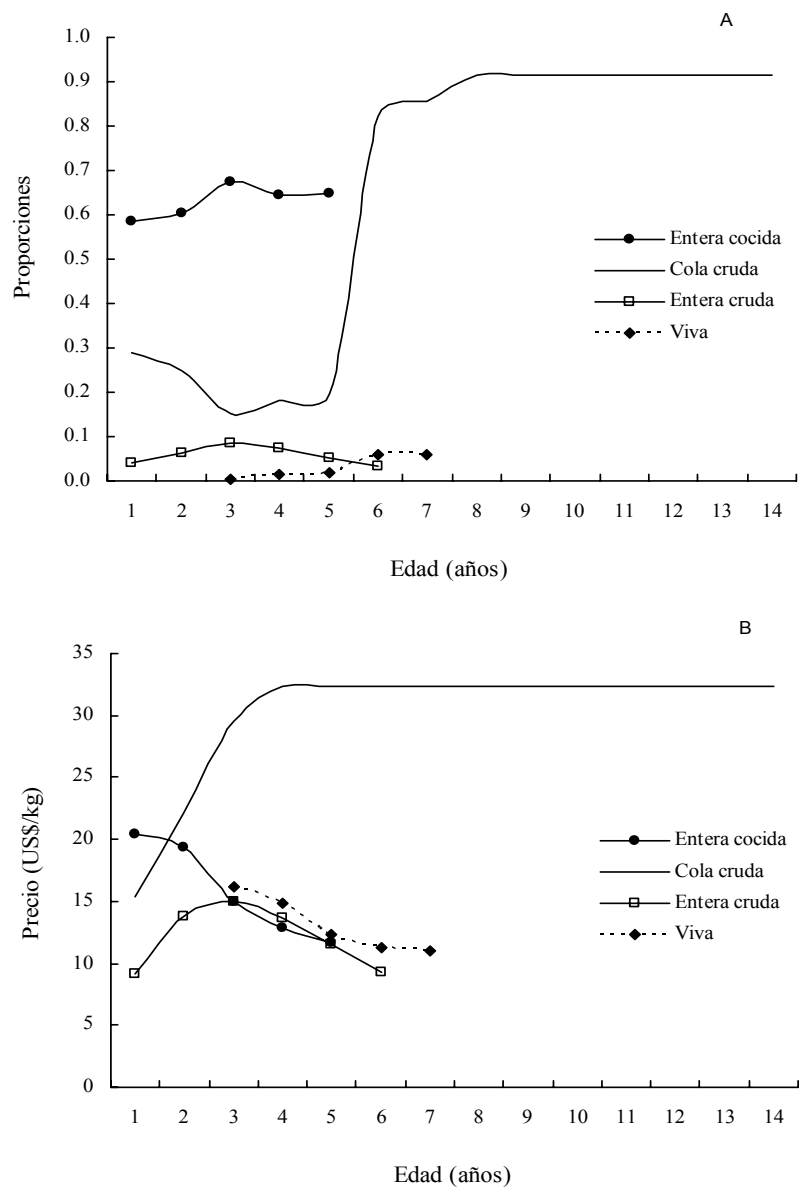


Fig. 4. (A) Proporciones de la captura y (B) precios a la edad, para los principales productos de exportación.

Durante el período 2000-2004, las 4,362 ton de captura promedio anual han reportado ingresos por unos 47.8 millones US\$ cada año, que al deducir los costos totales resultan en una renta económica de 35.2 millones US\$ como promedio anual (Tabla II).

El costo de procesamiento, transporte y comercialización de las capturas representa el 37% de los costos totales, siguiéndole en orden de importancia el costo fijo asociado a la inversión (32%) y el costo variable (31%) relacionado con las operaciones de pesca.

Tabla II. Parámetros y resultados económicos para la situación promedio de la pesquería durante el período 2000-2004

	Valor	Unidad
Captura	4,362	ton
Esfuerzo	16,876	días de pesca
Tamaño flota	118	barcos
Días de pesca por barco	143	
Costo variable unitario	232.5	US\$/día de pesca
Costo fijo unitario	35,096.3	US\$/barco
Costo de proceso unitario	1,078.2	US\$/ton
Costo variable	3.9	US\$ x 10 ⁶ /año
Costo fijo	4.0	US\$ x 10 ⁶ /año
Costo de proceso	4.7	US\$ x 10 ⁶ /año
Costo total	12.6	US\$ x 10 ⁶ /año
Ingresos	47.8	US\$ x 10 ⁶ /año
Renta	35.2	US\$ x 10 ⁶ /año
Ingreso unitario	10,958	US\$/ton
Costo total unitario	2,889	US\$/ton
Renta unitaria	8,070	US\$/ton

5.2 Capturas

La variación de la captura de langosta en el Golfo de Batabanó (Fig. 5), muestra las fases típicas de desarrollo de la pesquería, donde los desembarques han promediado 5,105 ton entre 1956 y 1977 en la etapa de crecimiento, 7,034 ton entre 1978 y 1989 en la madurez, y

4,907 ton entre 1990 y 2004 durante la etapa de estabilización, aunque en los últimos cinco años el promedio se ha reducido a 4,362 ton por las bajas capturas de 2000, 2001 y 2003.

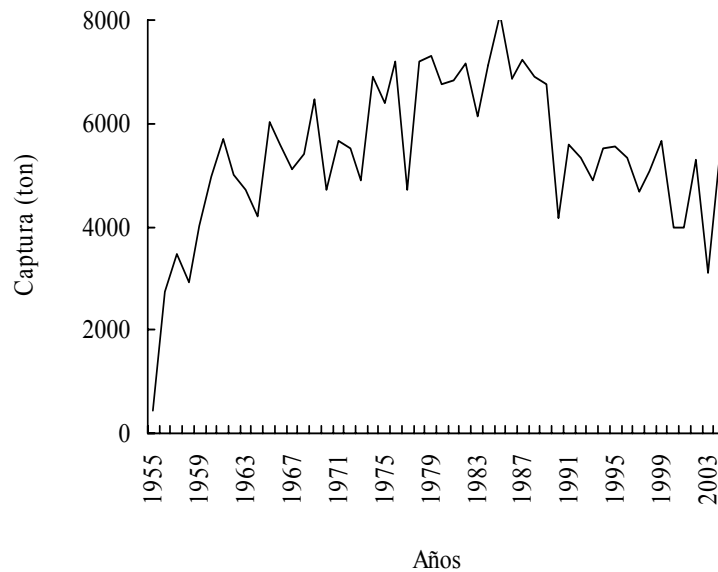


Fig. 5. Variación anual de captura en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó.

En la estructura por edades de las capturas en número (Fig. 6A) se encuentran langostas desde 1 año de edad, predominando los ejemplares con 3 años (39%), que junto al grupo de 4 años de edad aportan el 65% del total de langostas desembarcadas.

En la captura se pueden encontrar ejemplares con largos del cefalotórax (LC) entre 45 y 200 mm, pero la mayor parte está compuesta por langostas entre 71 y 100 mm, las cuales representan el 72% del total de animales desembarcados (Fig. 6B).

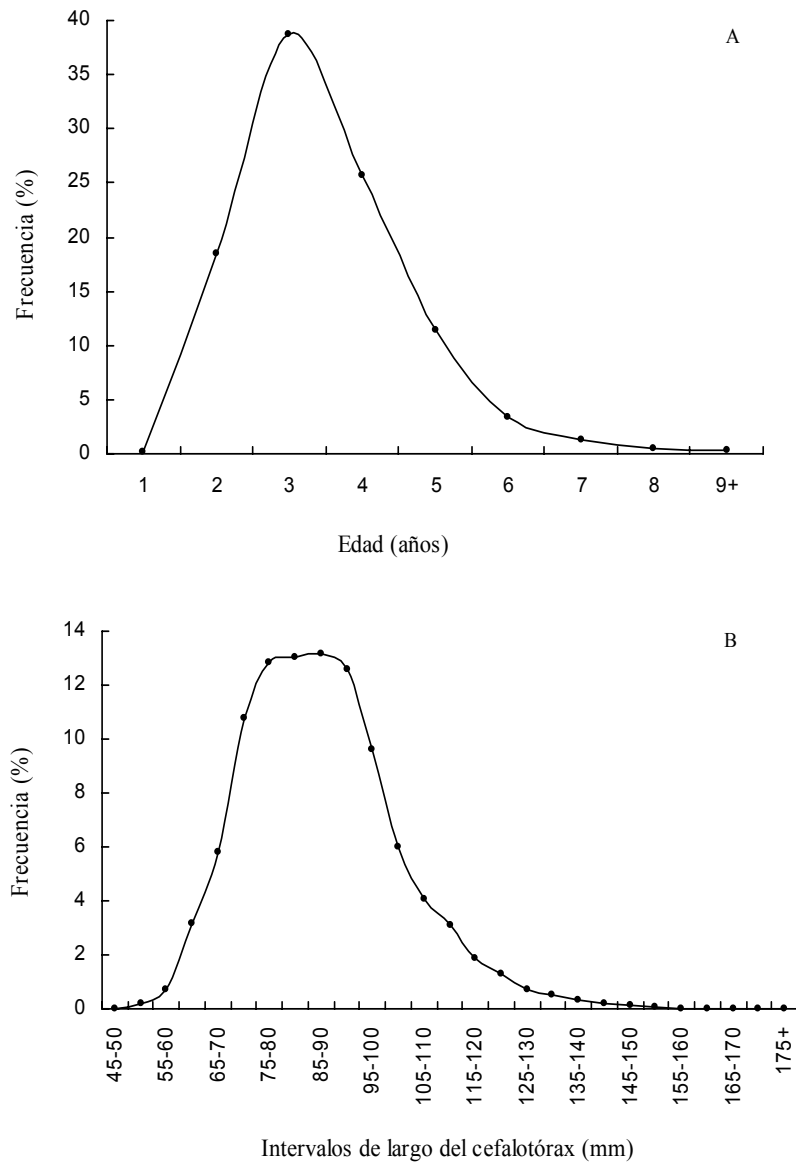


Fig. 6. Frecuencias porcentuales (A) por edades y (B) por largos, de las capturas en número.

5.3 Selectividad

Los patrones de explotación, expresados como la proporción de la F al largo o a la edad respecto a la F máxima, fueron estimados con ajustes altamente significativos y muestran que las langostas que reciben las mayores mortalidades por pesca se encuentran entre 3 y 6 años de edad (Fig. 7A) y entre 81 y 125 mm LC (Fig. 7B).

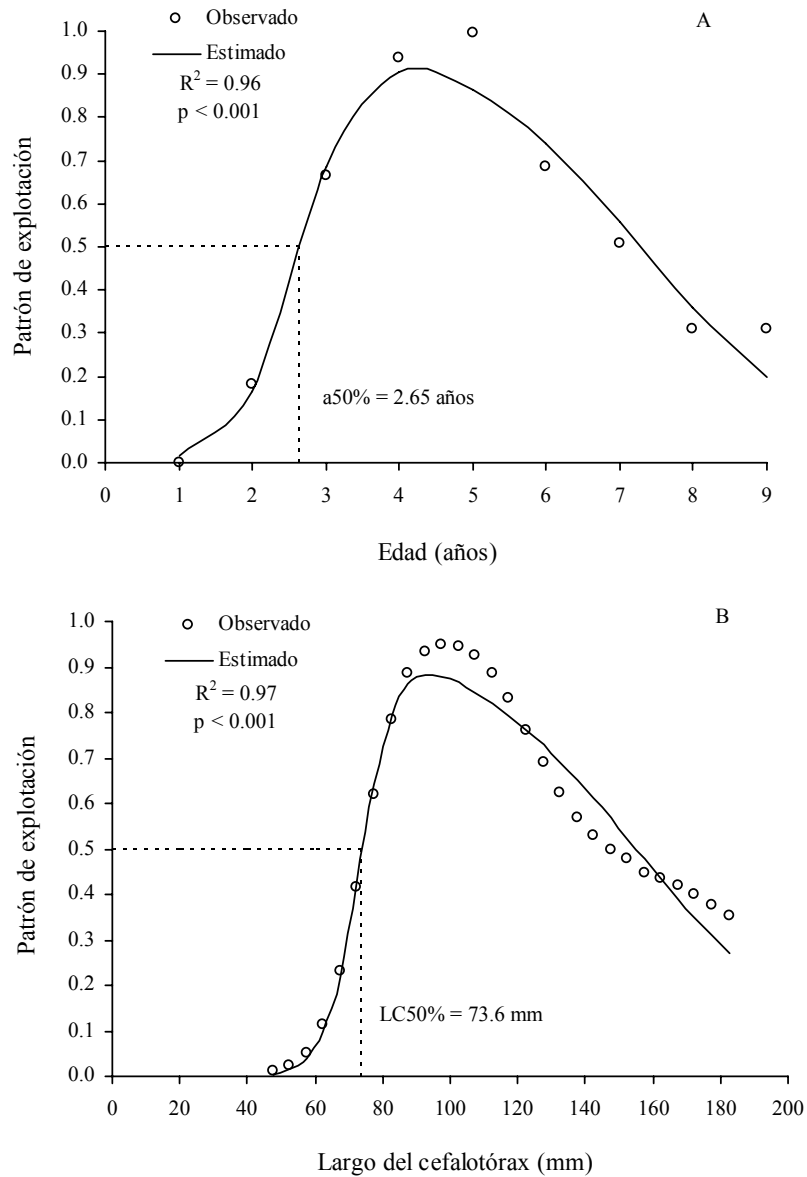


Fig. 7. Patrones de explotación (A) por edades y (B) por largos, mostrando la edad y el largo del 50% de selección.

Como consecuencia de estos patrones de explotación, la talla mínima legal de 69 mm LC que estuvo vigente, determinó un largo de primera captura $LC50\% = 73.6$ mm y una edad de primera captura $a50\% = 2.65$ años.

5.4 Esfuerzo, mortalidad por pesca y capturabilidad

El número de barcos en esta pesquería llegó a ser de 217 unidades en 1974, descendiendo paulatinamente hasta 117 en la actualidad (Fig. 8A). Como resultado, el número de días de pesca también presenta una tendencia descendente desde un máximo de 33,288 en 1976, hasta un mínimo de 14,376 en 2004.

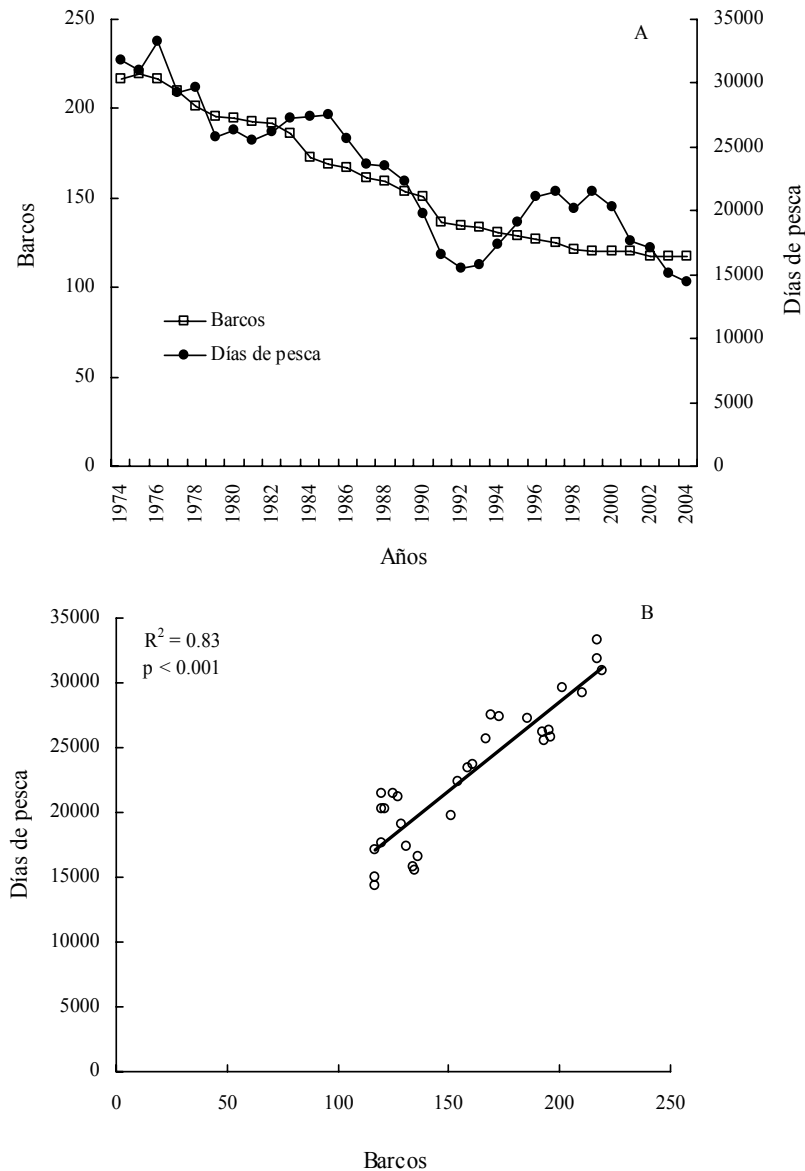


Fig. 8. (A) Variación anual de dos indicadores de esfuerzo pesquero y (B) correlación entre ambos.

Ambos indicadores de esfuerzo se encuentran significativamente correlacionados (Fig. 8B), aunque se pueden observar períodos en que el número de días de pesca por barco se ha distanciado del promedio histórico de 150 (Fig. 9), como en la etapa de 1990 a 1994, los peores años de la crisis económica en Cuba, resultante de la desintegración del bloque de países socialistas de Europa. Con la recuperación posterior de la economía cubana, este indicador se elevó hasta un promedio de 171 días por barco entre 1996 y 2000, para descender posteriormente hasta 123 en 2004, evidentemente como resultado de la extensión del período de veda desde 90 días hasta 120 días a partir de 2002. Durante el período 2000-2004, el promedio de días de pesca por barco ha sido de 143.

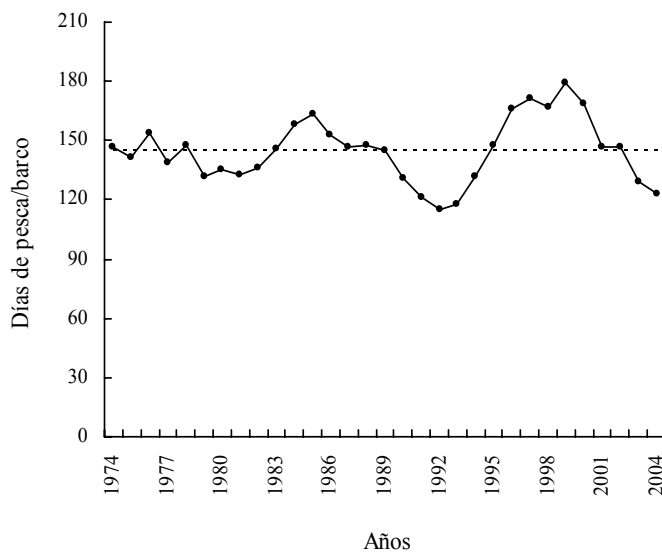


Fig. 9. Variación anual del índice de días de pesca por barco.

Las variaciones anuales del esfuerzo en días de pesca y de la tasa de mortalidad por pesca (F) resultante del análisis secuencial de poblaciones (Fig. 10A), también se relacionan significativamente (Fig. 10B), lo cual demuestra un buen ajuste del ASP.

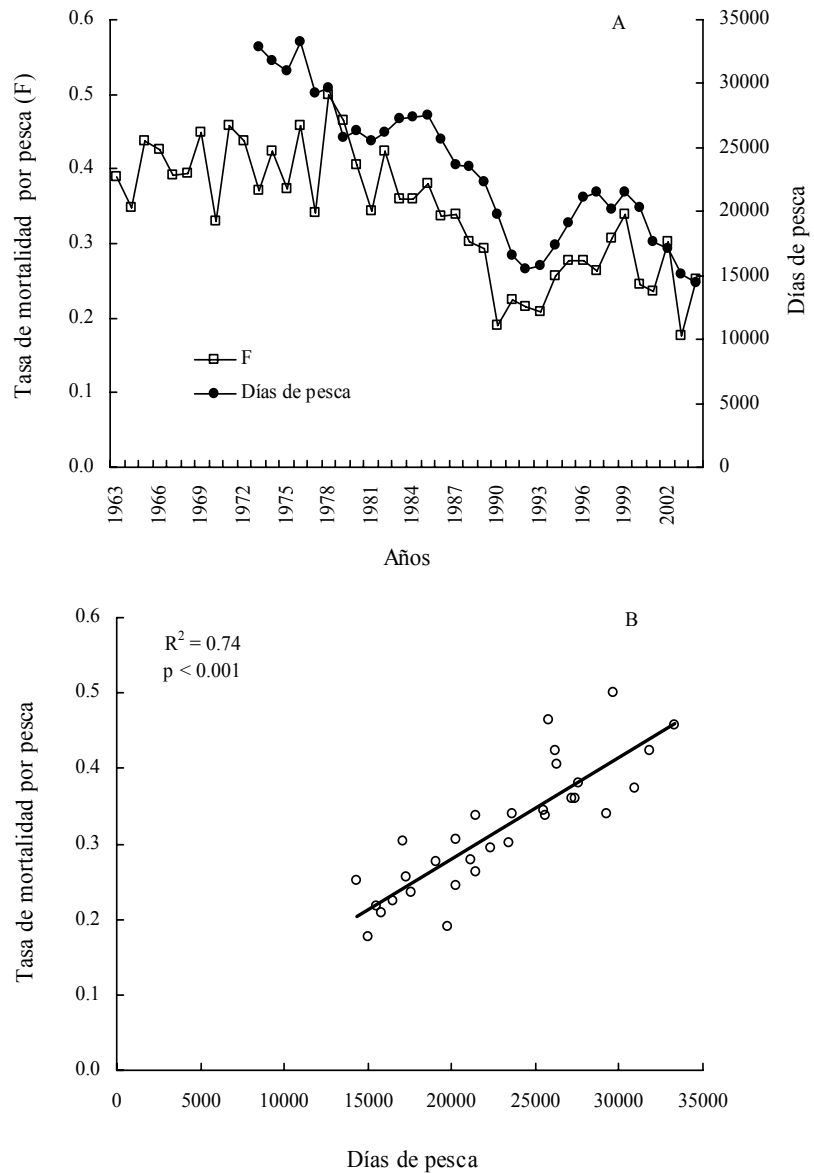


Fig. 10. (A) Variaciones anuales del esfuerzo pesquero en días de pesca y de la tasa de mortalidad por pesca y (B) correlación entre ambos.

La explotación sobre este recurso alcanzó su mayor intensidad con anterioridad a 1987, con valores de mortalidad por pesca por encima de $F = 0.34$ (tasa de explotación del 50%) y un esfuerzo pesquero superior a los 24,000 días de pesca. Después de una disminución entre 1990 y 1994, se produjo un incremento de ambos indicadores hasta 1999, para disminuir posteriormente hasta 2004. Durante la etapa de 2000 a 2004, la mortalidad por pesca promedio ha sido de $F = 0.24$.

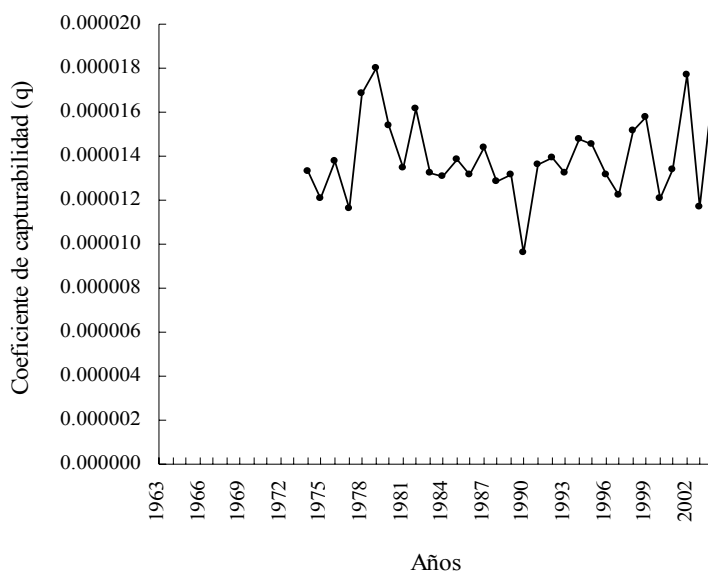


Fig. 11. Variación anual del coeficiente de capturabilidad.

El coeficiente de capturabilidad (Fig. 11), o sea, la tasa de mortalidad por pesca que ejerce una unidad de esfuerzo pesquero, ha presentado un coeficiente de variación del 13.6% alrededor del promedio histórico de $q = 1.4 \times 10^{-5}$ /día de pesca. En el período reciente del 2000-2004, las variaciones han sido marcadas con niveles bajos en 2000 y 2003 y valores elevados por encima de $q = 1.7 \times 10^{-5}$ /día de pesca en 2002 y 2004.

5.5 Reclutamiento

El reclutamiento, calculado como el número de langostas con un año de edad en la población (N_1), alcanzó niveles elevados entre 1977 y 1987 con un valor máximo de 49.5 millones en 1983, año a partir del cual se manifiesta una tendencia descendente hasta un mínimo de 28.9 millones en 1998 (Fig. 12A).

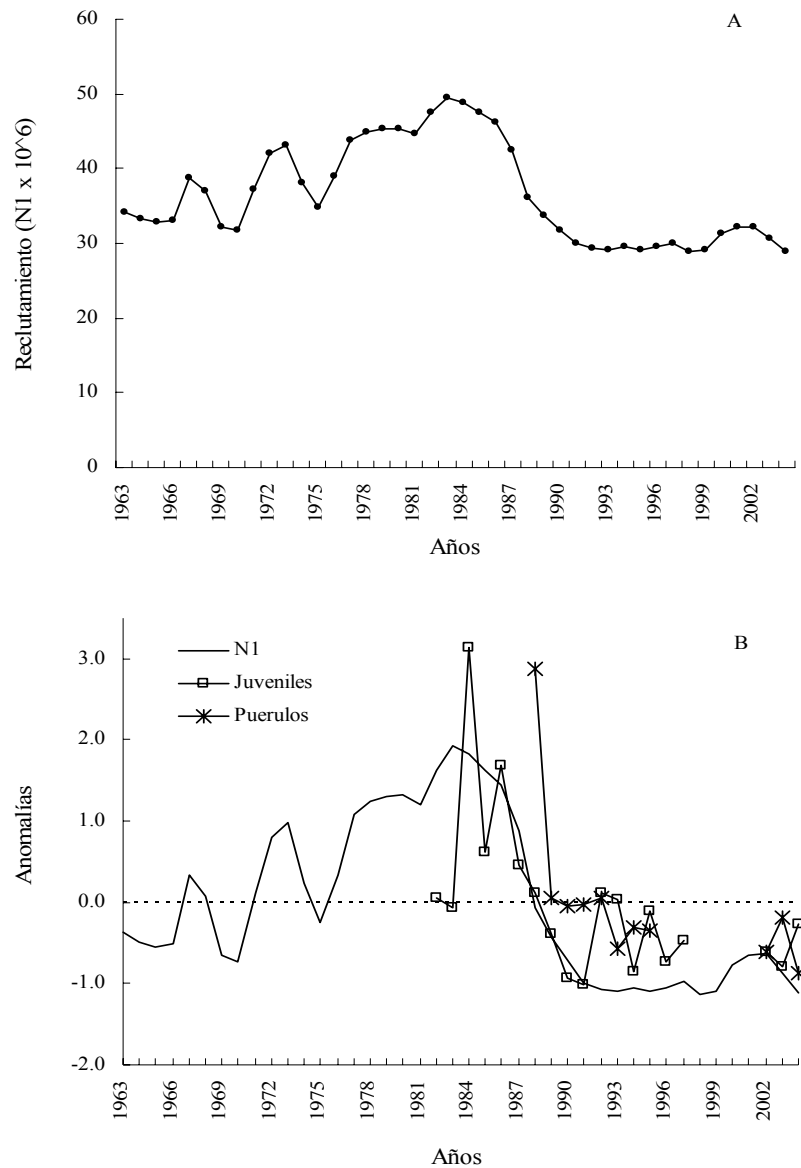


Fig. 12. (A) Variaciones anuales del reclutamiento y (B) comparación con dos índices independientes.

El reclutamiento se ha mantenido en niveles bajos desde 1991, en correspondencia con otros dos índices independientes (Fig. 12B), como son el asentamiento de puerulos y juveniles en colectores artificiales cuantificados mediante censos visuales con la metodología de Cruz *et al.* (1995).

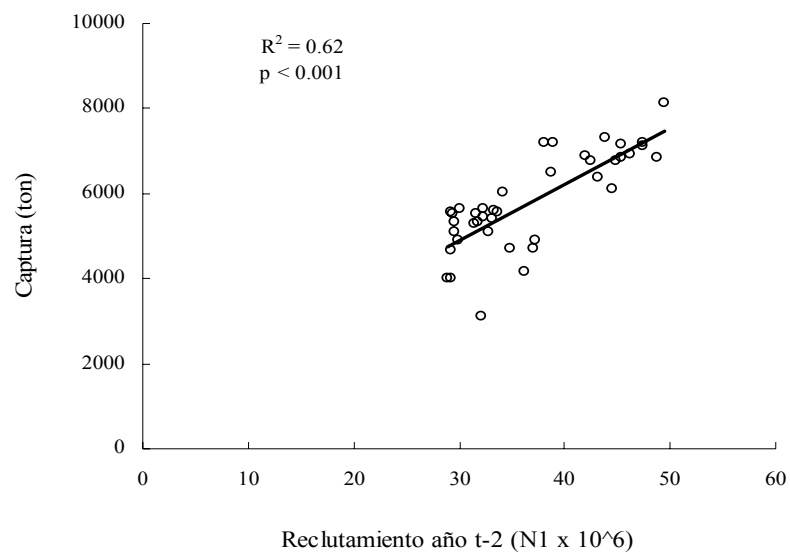


Fig. 13. Relación entre el reclutamiento y la captura con dos años de desfase.

La incidencia del número de langostas con un año de edad sobre las capturas se puede examinar mediante su relación con las capturas en peso a los 2 años siguientes (Fig. 13), ya que los desembarques están compuestos fundamentalmente (39%) por ejemplares con 3 años de edad.

5.6 Población y desove

La efectividad del ASP para estimar el tamaño de la población mediante el ajuste con la cpue en número como índice de abundancia, resultó altamente significativa para todos los grupos de edades (Tabla III).

Tabla III. Correlaciones entre los índices de abundancia (cpue en número) y el tamaño de la población por edad estimado por el ASP

Edad	R ²	p
2	0.64	< 0.000001
3	0.49	0.000012
4	0.30	0.001586
5	0.52	0.000005
6	0.78	< 0.000001
7	0.93	< 0.000001
8	0.93	< 0.000001
9+	0.95	< 0.000001

El tamaño total de la población mantuvo los mayores niveles entre 1978 y 1998 con un máximo de 120 millones en 1984, descendiendo hasta un mínimo de 76 millones en 2000, mientras que la biomasa total fue más elevada entre 1984 y 1995 con un máximo de 26,467 ton en 1991, descendiendo posteriormente hasta 17,408 ton en 2000 (Fig. 14A).

El desove estimado como la producción de huevos por las hembras de la población y la biomasa de individuos completamente maduros (4 años de edad en adelante) muestran tendencias ascendentes hasta 2,117 billones de huevos en 1992 y 17,992 ton en 1991. Ambos indicadores del stock de desove descienden posteriormente hasta el año 2000 y se observa una tendencia a la recuperación a partir de 2001 (Fig. 14B).

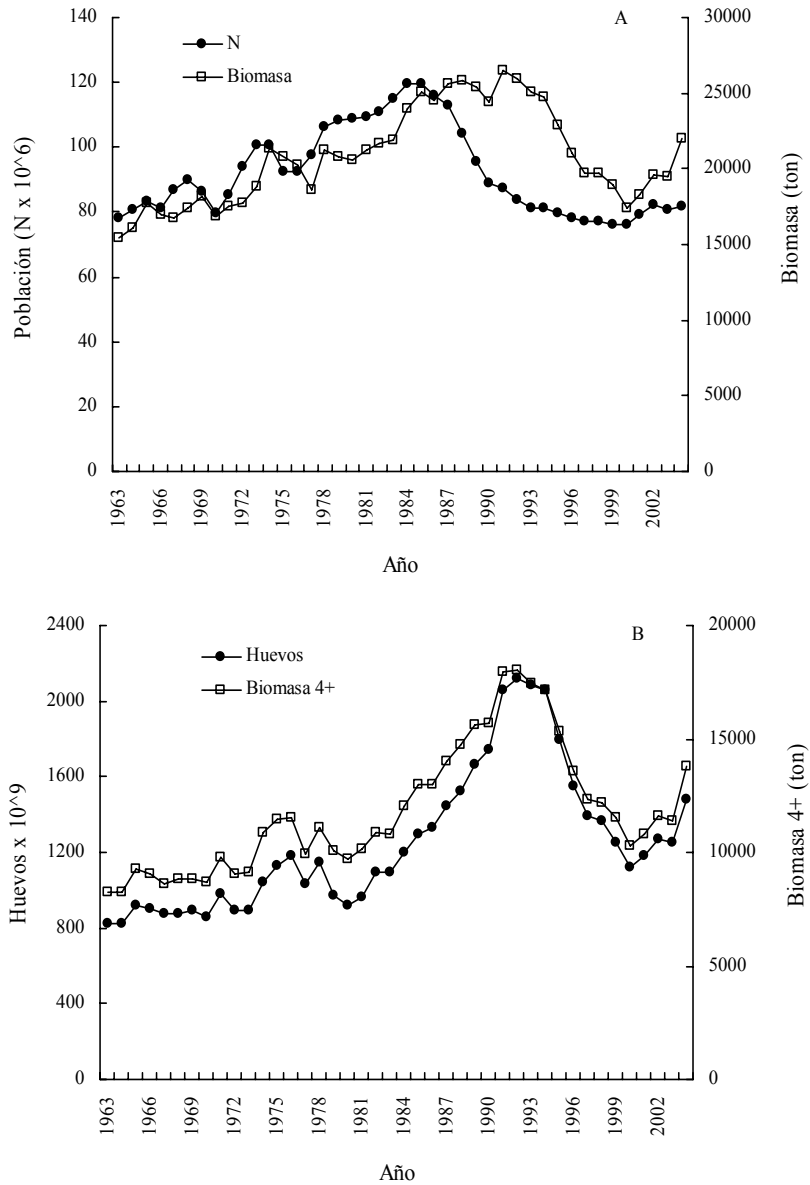


Fig. 14. Variaciones anuales de (A) tamaño de la población y biomasa total, (B) número de huevos y biomasa de langostinas con 4 y más años de edad.

5.7 Relación stock-reclutamiento

La relación entre la magnitud de los desoves anuales y de los reclutamientos al año siguiente resultó significativa para cinco modelos S-R (Tabla IV), pero con bajos niveles de correlación, principalmente para el caso de Beverton y Holt.

Tabla IV. Coeficientes y grados de ajuste de las relaciones stock-reclutamiento entre el número de huevos y el reclutamiento (N1) con un año de desfase

Modelo	α	β	γ	R^2	p
Deriso-Schnute	0.12350	0.00129	0.16887	0.289	0.00029
Ricker	0.10289	0.00099		0.290	0.00028
Beverton y Holt	903.89918	25.09378		0.173	0.00678
Shepherd	0.06625	1.006E-08	2.61525	0.303	0.00019
Gamma	0.02855	0.00118	1.21536	0.292	0.00027

Los mejores ajustes se encontraron para los modelos de Shepherd y Gamma, que con curvas en forma de domo describen los valores observados con mayor realismo que el modelo de Beverton y Holt (Fig. 15).

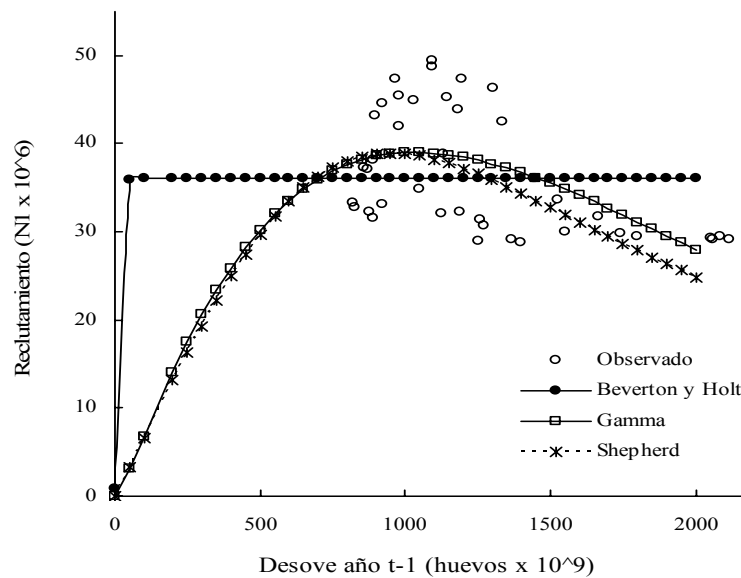


Fig. 15. Curvas de relaciones S-R entre el número de huevos y el reclutamiento con un año de desfase.

Las curvas de Deriso-Schnute y Ricker, aunque no se representaron gráficamente, describen trayectorias similares a los modelos de Shepherd y Gamma.

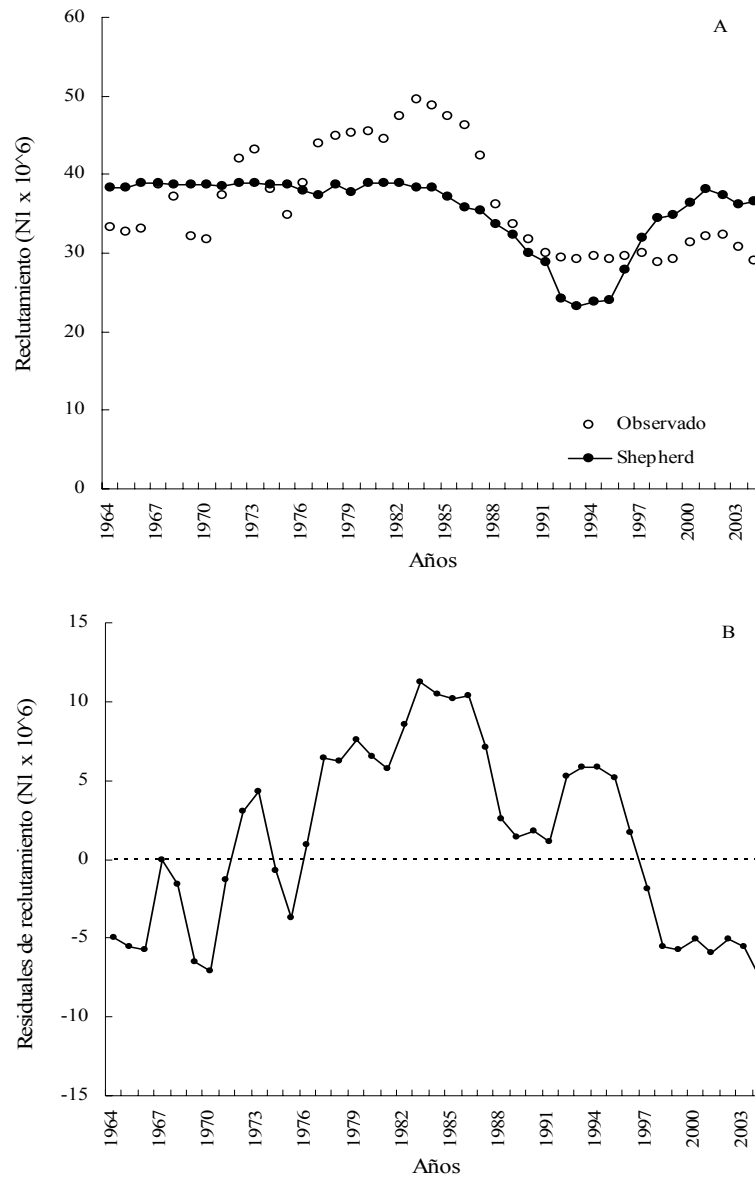


Fig. 16. (A) Reclutamientos observados y estimados por el modelo S-R de Shepherd y (B) residuales del ajuste.

Con el modelo de mejor ajuste (Shepherd), los reclutamientos estimados describen aproximadamente la trayectoria en el tiempo de los reclutamientos observados (Fig. 16A), pero la representación gráfica de los residuales (Fig. 16B), permite apreciar que entre 1977 y 1987 el nivel de reclutamiento fue considerablemente superior al pronosticado por el modelo, mientras que desde 1997 el reclutamiento se mantiene por debajo de los niveles esperados. La conveniencia de utilizar estas funciones stock-reclutamiento en las proyecciones del tamaño de la población se discutirán posteriormente.

5.8 Puntos de referencia

Las curvas de equilibrio de la captura, los ingresos, los costos y la renta (Fig. 17) y de las tasas potenciales de desove y biomasa (Fig. 18), resultantes del modelo basado en la edad, representan la predicción a largo plazo de estos indicadores en función del esfuerzo.

La situación actual de la pesquería, caracterizada por los días de pesca realizados como promedio durante el período 2000-2004 (16,876 días de pesca) se encuentra ligeramente por debajo del punto de referencia precautorio $F_{0.1}$, la tasa de mortalidad por pesca correspondiente al punto donde la pendiente de la curva de la captura es igual al 10% de la pendiente en el origen (Gulland y Boerema, 1973). Los puntos de referencia correspondientes a Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), implican la realización de un esfuerzo pesquero mayor.

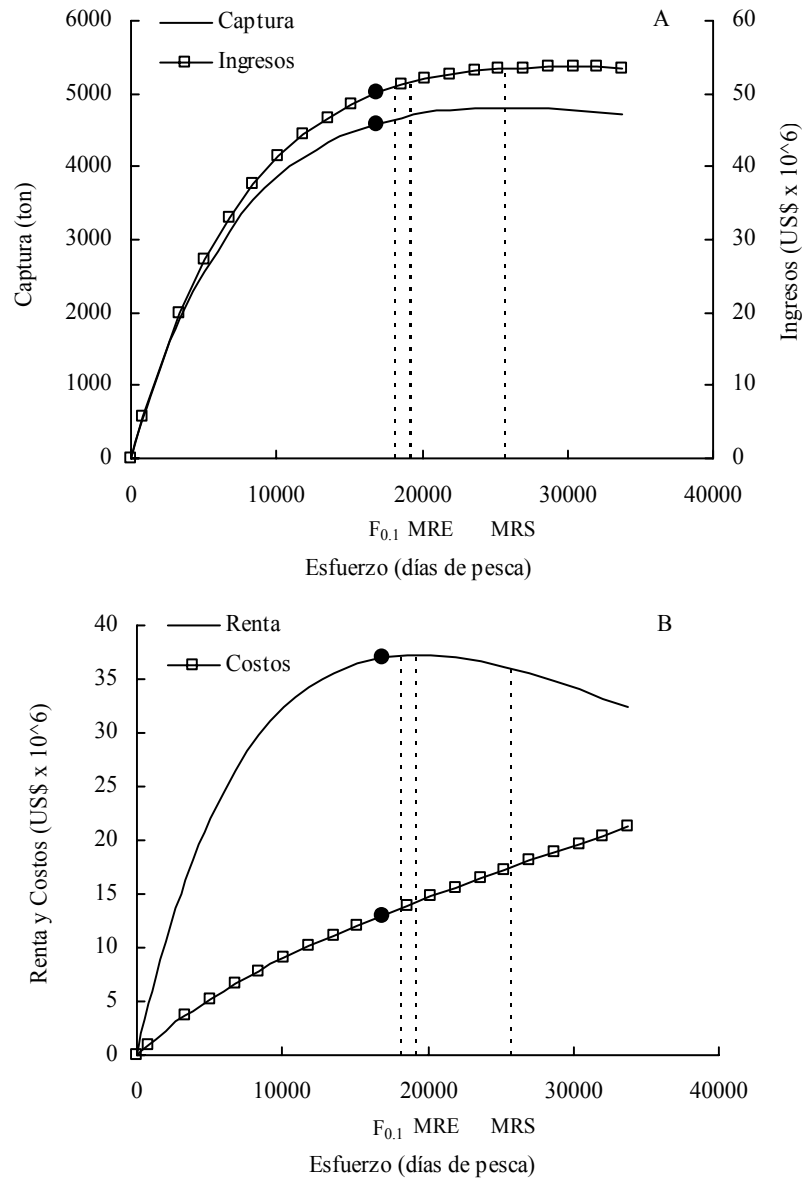


Fig. 17. Curvas de equilibrio del modelo basado en edades en función del esfuerzo. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para $F_{0.1}$, Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas. (A) Captura e ingresos, (B) renta y costos.

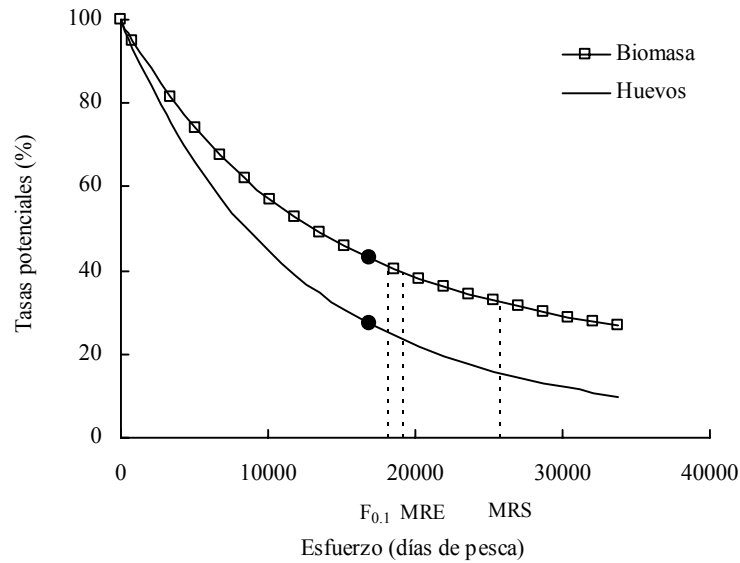


Fig. 18. Curvas de equilibrio de las tasas potenciales de desove y biomasa del modelo basado en edades en función del esfuerzo. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para $F_{0.1}$, Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

Las curvas de equilibrio de la captura y la renta en función de la edad y del largo de primera captura (50% de selección) indican que es necesario desplazar la intensidad de explotación hacia langostas mayores en comparación con la situación actual, para incrementar la captura y la renta (Fig. 19). Por lo tanto, para alcanzar el nivel de MRE habría que aumentar la talla mínima legal a más de 69 mm LC, lo cual además favorecerá la tasa potencial de desove (Fig. 20).

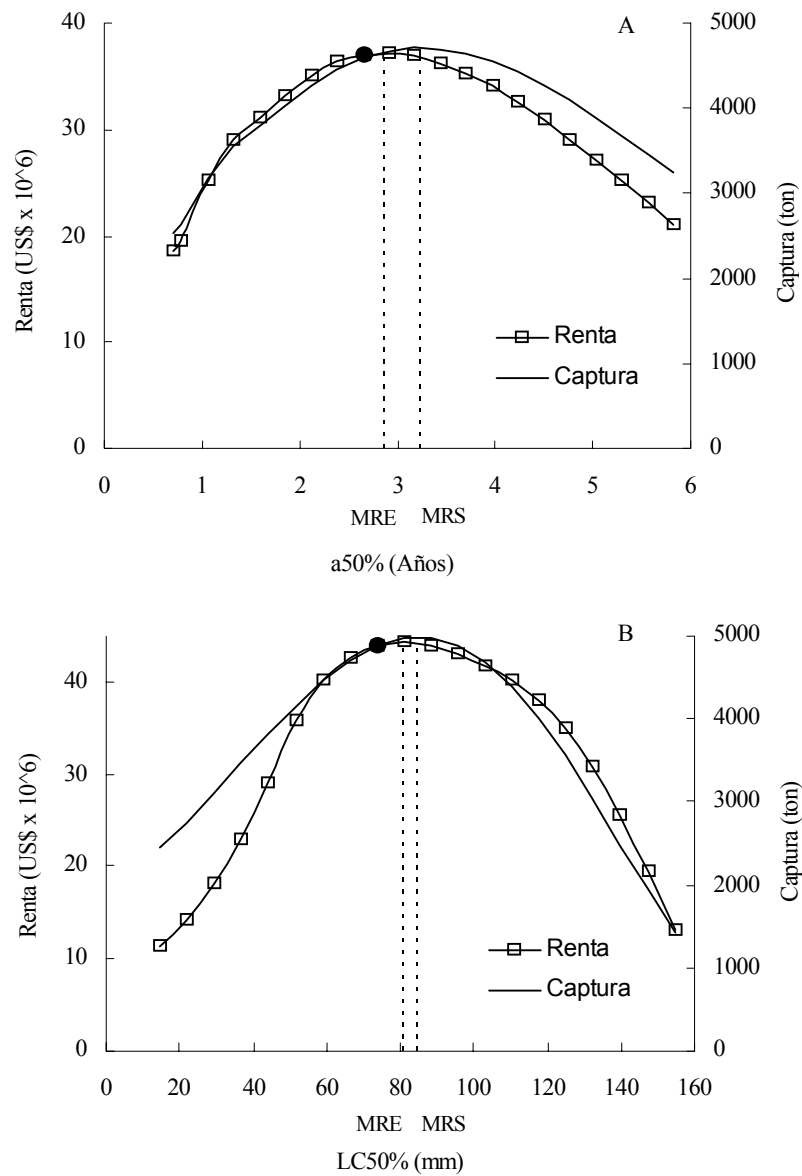


Fig. 19. Curvas de equilibrio de la renta y la captura en función (A) de la edad y (B) del largo de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

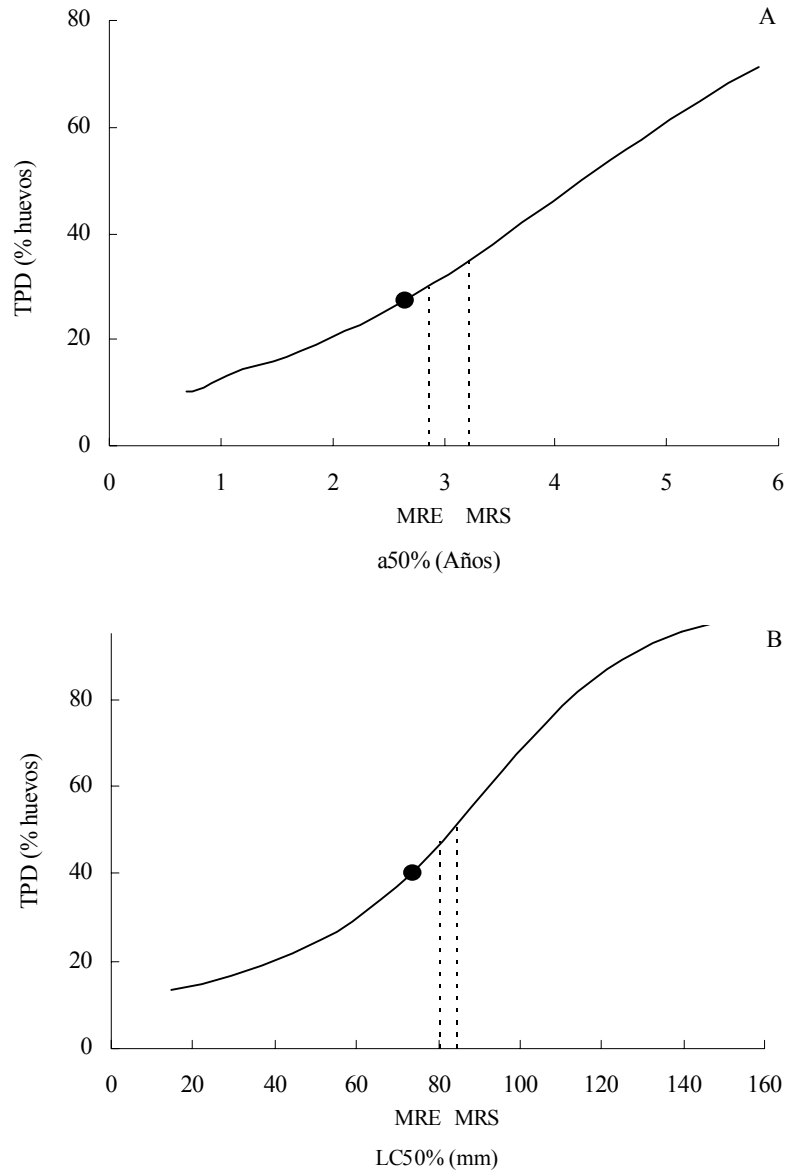


Fig. 20. Curvas de equilibrio de la tasa potencial de desove en función (A) de la edad y (B) del largo de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y puntos de referencia para Máximo Rendimiento Económico (MRE) y Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), representados por líneas verticales discontinuas.

El efecto sobre la renta y el desove, por variar simultáneamente la edad de primera captura y el esfuerzo pesquero, fue evaluado con el modelo basado en la edad, el cual predice que incrementos simultáneos de ambos parámetros conducirían a la pesquería al punto de MRE sin afectar la tasa potencial de desove (Fig. 21).

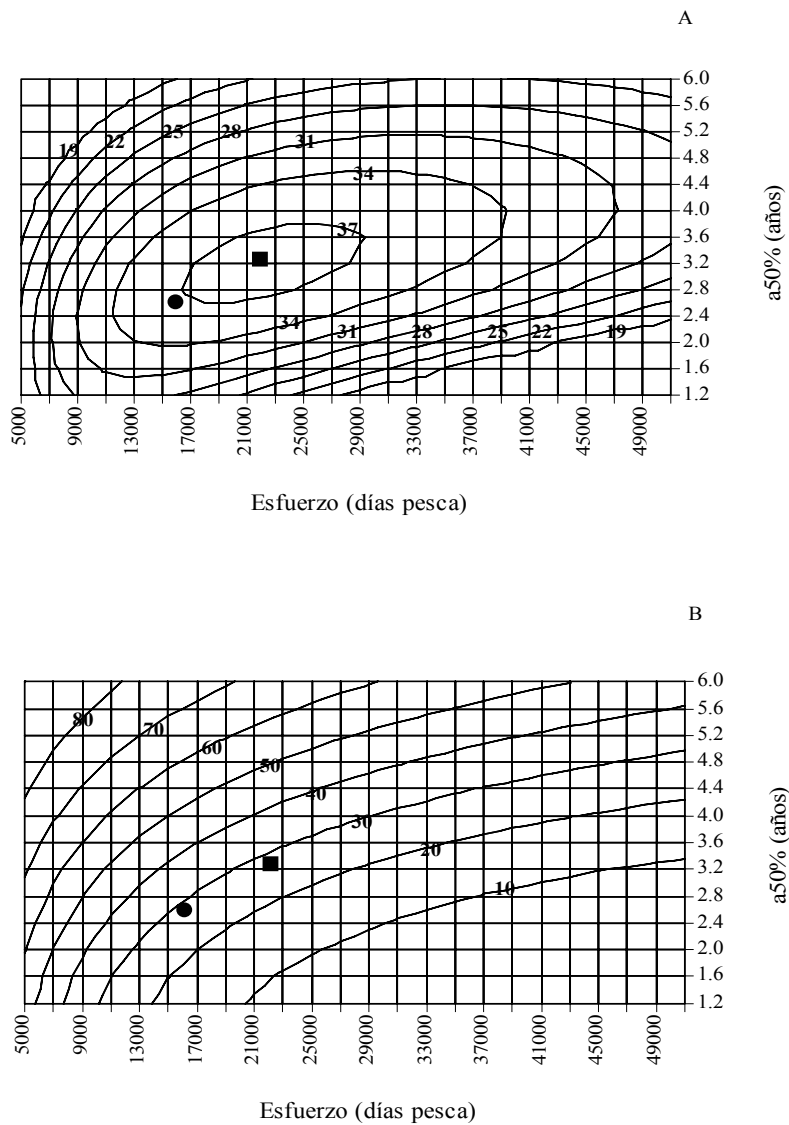


Fig. 21. Isopletas (A) de la renta (US\$ x 10⁶) y (B) de la tasa potencial de desove (% de huevos), en función del esfuerzo y de la edad de primera captura. Situación actual (promedio 2000-2004) representada por un círculo y punto de referencia para Máximo Rendimiento Económico representado por un cuadrado.

El resumen de los valores de captura, renta y TPD, asociados con diferentes niveles de esfuerzo pesquero y tallas mínimas legales de captura, según los puntos de referencia obtenidos, permite tener en cuenta varias opciones de ordenamiento en comparación con la situación actual de la pesquería (Tabla V).

Tabla V. Situación actual de la pesquería y puntos de referencia estimados por el modelo basado en la edad

		Esfuerzo (días de pesca)	Talla mínima (LC mm)	Talla 50% (LC mm)	Edad 50% (años)	Captura (ton)	Renta (US\$ x 10 ^6)	TPD (% huevos)
Actual (2000-2004)		16,876	69.0	73.6	2.65	4,362	37.0	27.3
Efecto del esfuerzo	F _{0.1}	18,184	69.0	73.6	2.65	4,659	37.2	25.0
	MRE	19,227	69.0	73.6	2.65	4,700	37.3	23.3
	MRS	25,784	69.0	73.6	2.65	4,799	36.0	15.5
Efecto de la edad 50%	MRE	16,876	74.2	78.7	2.87	4,662	37.2	30.1
	MRS	16,876	83.8	88.9	3.24	4,707	36.8	35.2
Efecto del esfuerzo y la edad 50%	MRE	22,113	81.1	85.9	3.18	5,017	37.9	26.0

Los resultados indican que las capturas y la renta se pueden incrementar con diferentes medidas, en relación con los resultados obtenidos durante el período 2000-2004. El aumento del esfuerzo al punto de MRE (19,227 días de pesca) produciría incrementos de la captura en unas 340 ton y de la renta en 300,000 US\$, pero reduciría la TPD en un 4%.

El aumento de la talla mínima legal al punto de MRE (74.2 mm LC) aumentaría la captura en 300 ton, la renta en 200,000 US\$ y la TPD en 2.8%.

El aumento combinado del esfuerzo (22,113 días de pesca) y la talla mínima (81.1 mm LC) pudiera incrementar la captura en 655 ton y la renta en 900,000 US\$ y solamente reduciría la TPD en 1.3%.

5.9 Incertidumbre

Para conocer la variabilidad en las predicciones del modelo, se tomaron el reclutamiento y la capturabilidad resultantes del ajuste del ASP con remuestreo “bootstrap” (Fig. 22).

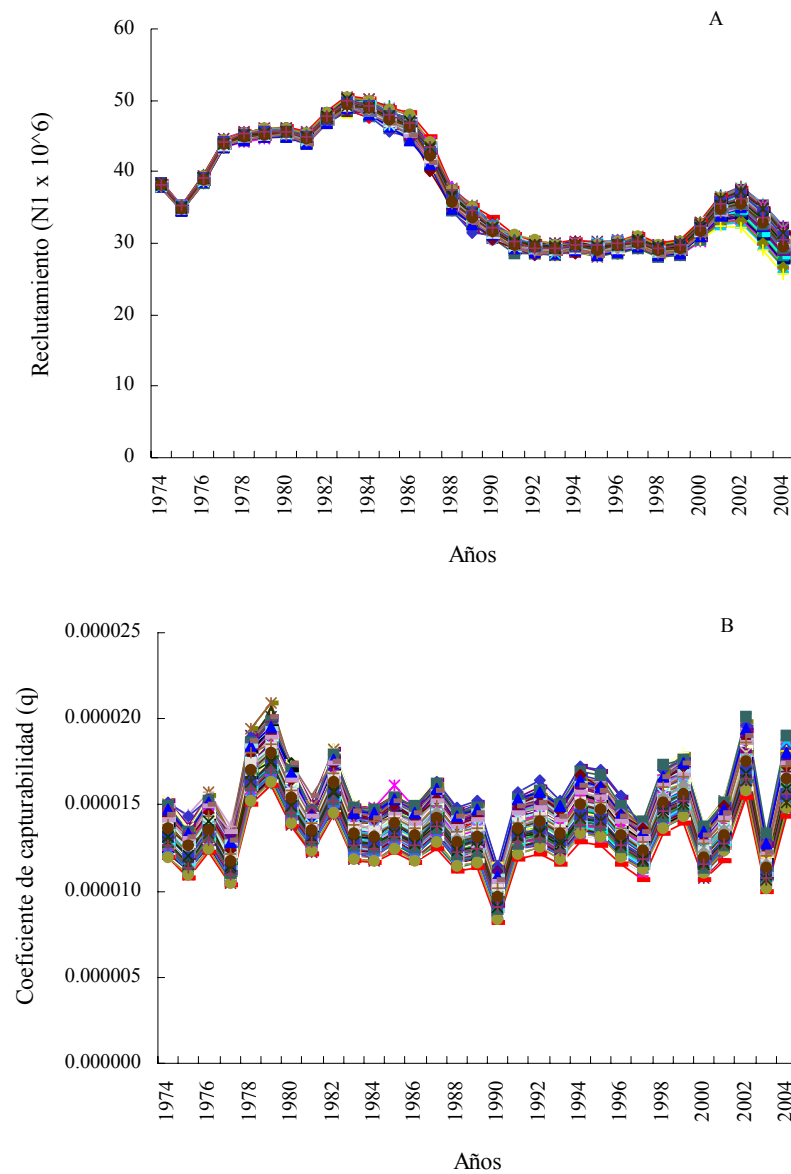


Fig. 22. Resultados de 300 corridas del ASP con remuestreo “bootstrap”. (A) Reclutamiento y (B) capturabilidad.

La distribución de frecuencias de los valores obtenidos para el período 1991-2004 fueron analizadas y ajustadas a funciones probabilísticas, resultando el mejor ajuste para el reclutamiento la función de valores extremos con una escala de 1.43 (Fig. 23) y para la capturabilidad la función lognormal con un coeficiente de variación $CV = 13.1\%$ (Fig. 24).

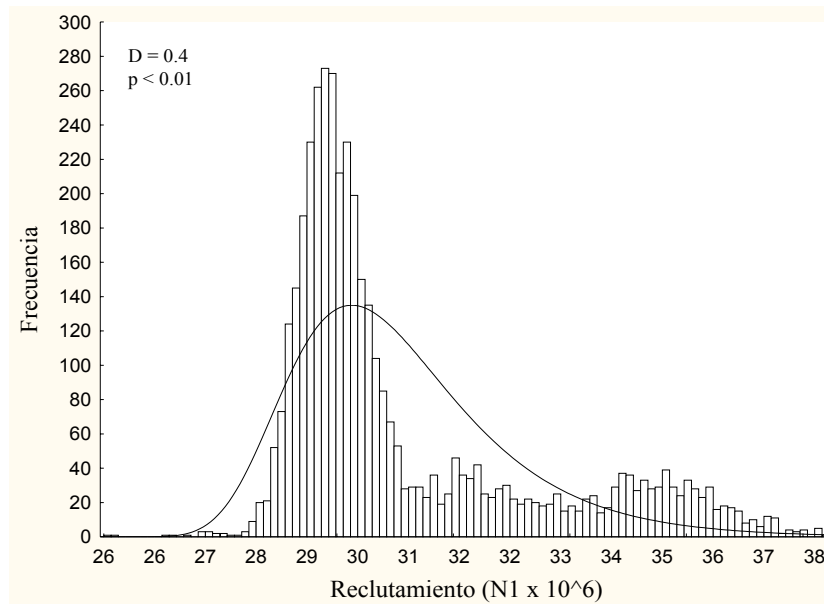


Fig. 23. Ajuste de la función de probabilidades de valores extremos a la distribución de frecuencias del reclutamiento.

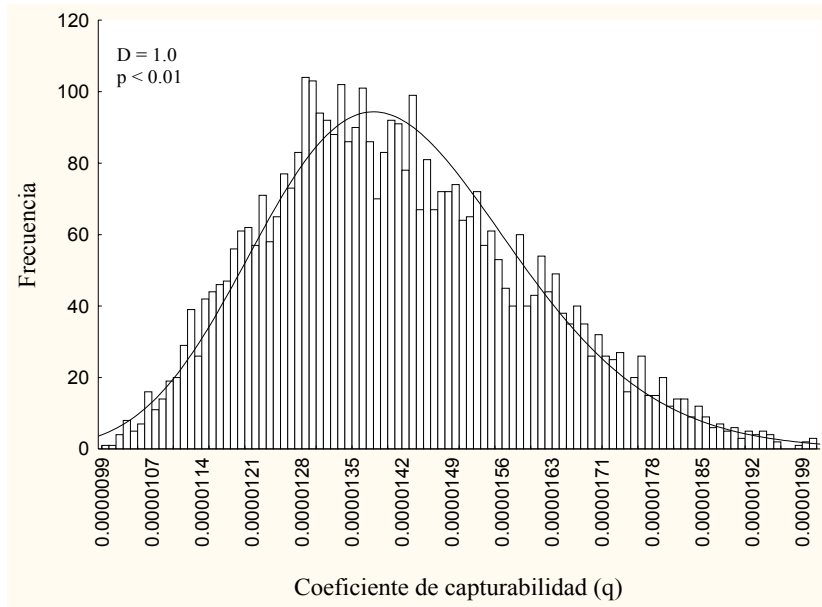


Fig. 24. Ajuste de la función de probabilidades lognormal a la distribución de frecuencias de la capturabilidad.

5.10 Opciones de manejo

A partir de la estructura por edades de la población en 1994, con el patrón de explotación y el coeficiente de capturabilidad promedios del período 2000-2004, y con el reclutamiento promedio del período 1991-2004, se proyectó la estructura por edades para el período 1995-2004, estimando las capturas con el esfuerzo pesquero realizado cada año durante ese período. Los valores de entrada del reclutamiento y la capturabilidad variaron anualmente de forma aleatoria en 2000 simulaciones de Monte Carlo, dentro de las funciones de densidad probabilística ajustadas previamente, para obtener las capturas estimadas con la variabilidad asociada (Fig. 25).

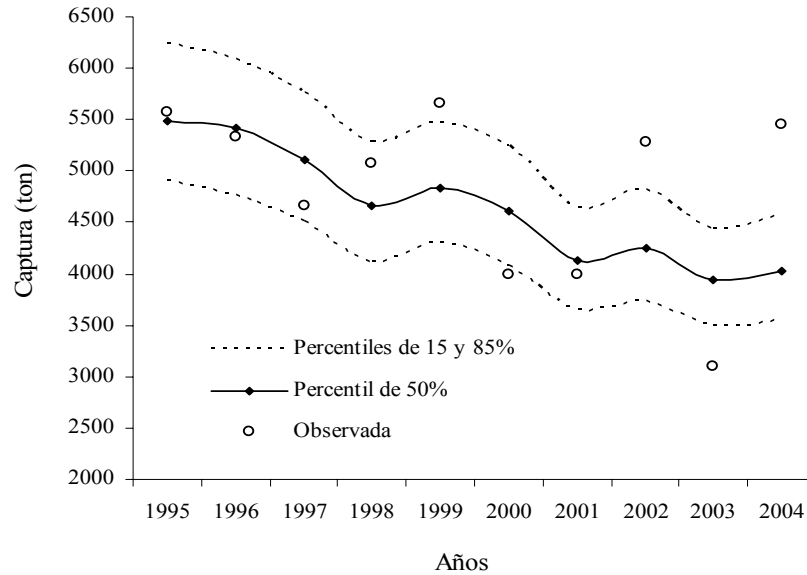


Fig. 25. Capturas observadas y estimadas por el modelo teniendo en cuenta incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad.

El modelo describe aceptablemente la trayectoria de las capturas hasta el año 2001, pero las capturas reales entre 2002 y 2004 muestran fluctuaciones mayores que las esperadas, aún considerando la variabilidad observada en el reclutamiento y la capturabilidad como parámetros de entrada.

Para examinar el efecto a corto y mediano plazo de diferentes opciones de manejo de la pesquería, se elaboraron tres escenarios teniendo en cuenta cambios en el esfuerzo y la edad del 50% de selección, mediante cambios en la talla mínima legal (Tabla VI).

La primera opción es mantener una situación semejante al período 2000-2004, la segunda incrementar paulatinamente el esfuerzo hasta alcanzar el nivel de MRE en el año 2007, y la tercera aumentar gradualmente el esfuerzo y la talla mínima legal hasta el nivel combinado de MRE en 2007.

Tabla VI. Tres escenarios para el manejo de la pesquería durante el período 2005-2014

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
(1) f y a50% (actual)										
f (días de pesca)	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876	16,876
a50% (años)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Talla mínima (LC mm)	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
(2) f MRE										
f (días de pesca)	17,500	18,500	19,227	19,227	19,227	19,227	19,227	19,227	19,227	19,227
a50% (años)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Talla mínima (LC mm)	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
(3) f y a50% (MRE)										
f (días de pesca)	18,000	20,000	22,113	22,113	22,113	22,113	22,113	22,113	22,113	22,113
a50% (años)	2.84	3.02	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
Talla mínima (LC mm)	74	78	81	81	81	81	81	81	81	81

Para simular los cambios en la edad de 50% de selección, se utilizaron los patrones de explotación teóricos a la edad, equivalentes a cambios graduales en la talla mínima legal de captura desde 69 hasta 81 mm LC (Fig. 26).

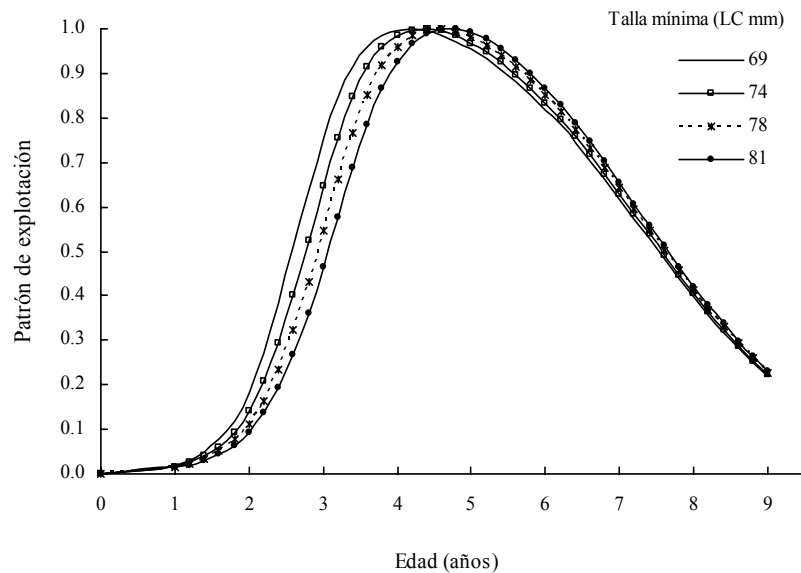


Fig. 26. Patrones de explotación teóricos a la edad, utilizados para simular el efecto de cambios en la talla mínima legal de captura.

A partir de la estructura por edades de la población en 2004, el reclutamiento promedio del período 1991-2004 y la capturabilidad media de la etapa 2000-2004, se realizaron proyecciones para el período 2005-2014 con los tres escenarios de manejo de la pesquería.

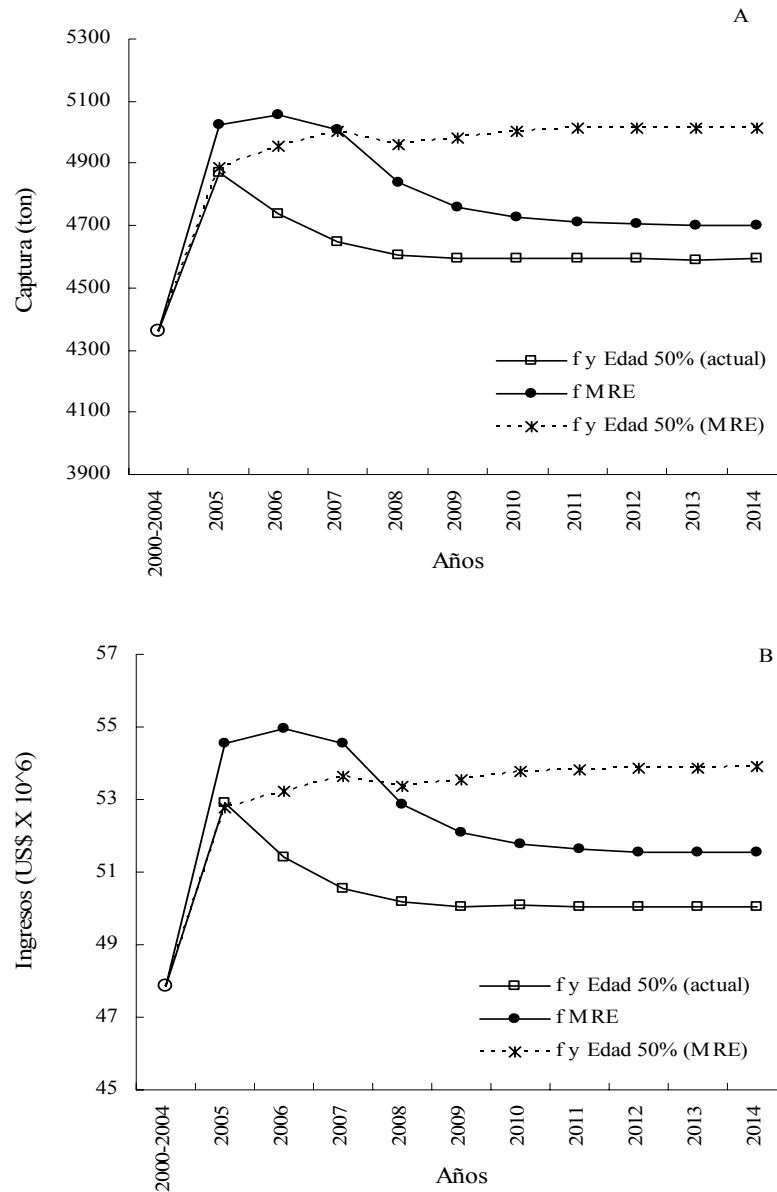


Fig. 27. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Captura y (B) ingresos.

Las proyecciones de la captura y los ingresos (Fig. 27), muestran que ambos indicadores del desempeño deben superar los bajos promedios del período más reciente, de mantenerse un reclutamiento semejante al de la etapa 1991-2004. La combinación de f y a50% para MRE debe producir los mejores resultados de forma sostenible a partir de 2008, mientras que el sistema actual conduciría a los desempeños más bajos.

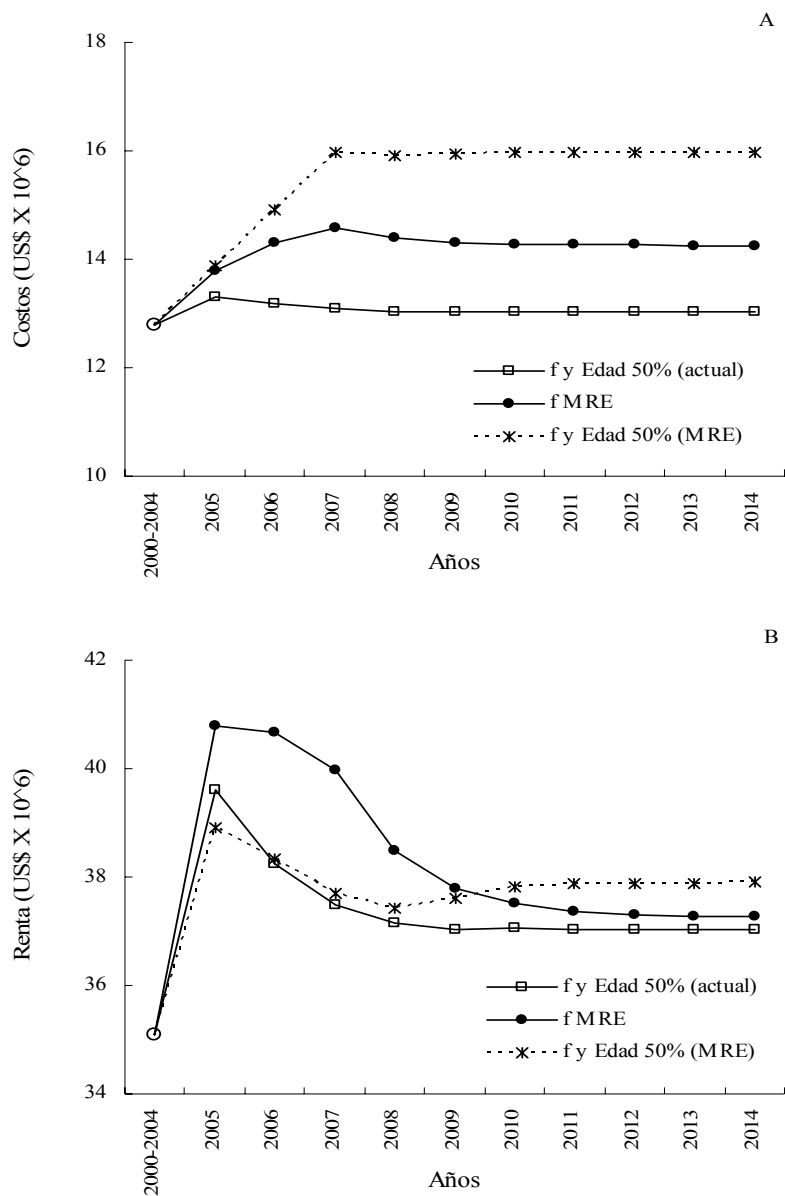


Fig. 28. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Costos y (B) renta.

Debido a los mayores niveles de esfuerzo y captura del escenario 3, esta opción es la que genera los costos más elevados (Fig. 28A), pero una vez que se estabiliza el efecto inicial de los cambios, la renta alcanza los mayores valores de forma sostenible (Fig. 28B). Mantener el sistema actual produciría las menores rentas.

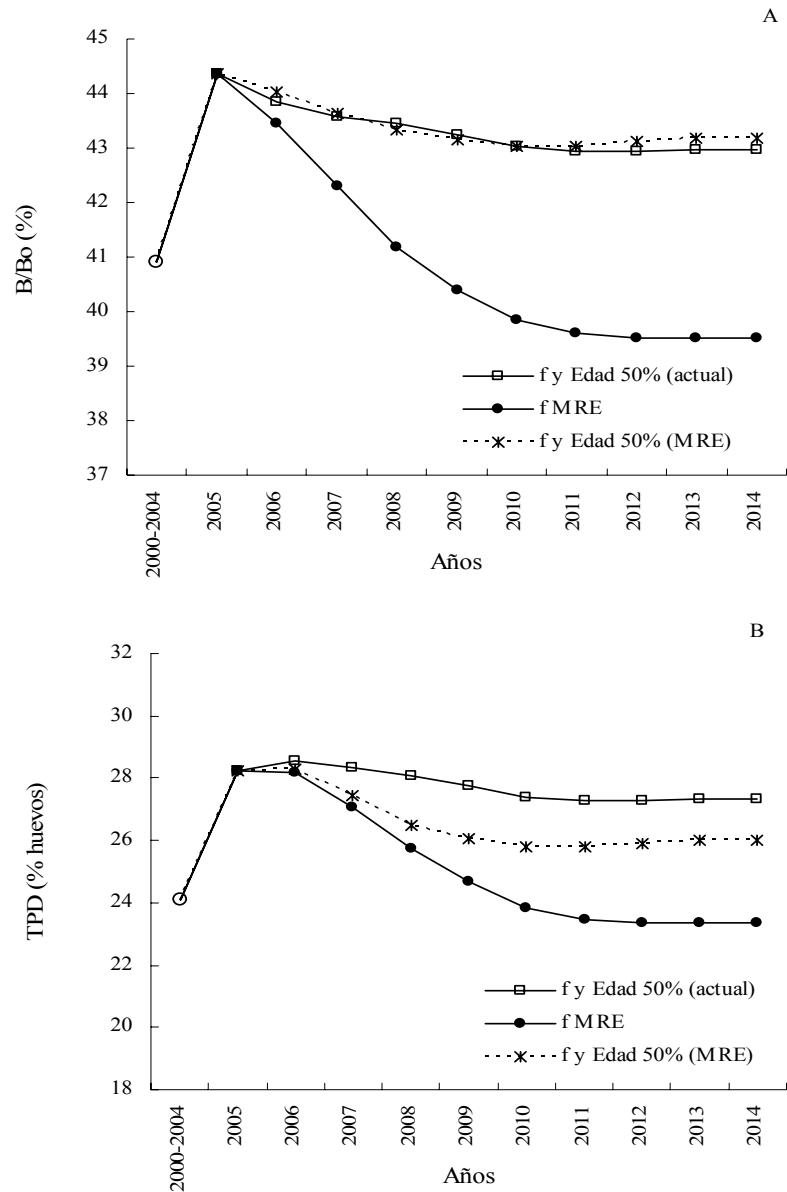


Fig. 29. Proyecciones para tres escenarios de manejo de la pesquería. (A) Proporción de la biomasa no explotada y (B) tasa potencial de desove.

Las respuestas de los indicadores biológicos muestran que mantener el régimen actual o aumentar simultáneamente el esfuerzo y la talla mínima, deben favorecer la tasa potencial de biomasa y de desove en comparación con el período 2000-2004 (Fig. 29). Aumentar el esfuerzo al MRE sin incrementar la talla mínima produciría disminuciones de la TPD y sobre todo de la biomasa, en comparación con otras opciones e incluso en relación con el estado más reciente de la población.

El efecto de la incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad sobre los principales indicadores (captura, renta y TPD) fue evaluado para los tres escenarios mediante la estimación de cifras esperadas en el año 2014 (efecto a largo plazo) y sus intervalos teniendo en cuenta la variabilidad (Tabla VII).

Como promedio y en comparación con el escenario 1 (mantener el sistema actual), el esfuerzo para RME sin variar la talla mínima, aumentaría la captura en 129 ton, la renta en 460,000 US\$ y reduciría el desove en 4%. Aumentar el esfuerzo y la talla mínima pudiera incrementar la captura en 437 ton, la renta en 967,000 US\$ y disminuir el desove en 1.2%

Tabla VII. Capturas y rentas esperadas para el año 2014 con tres escenarios de manejo considerando incertidumbre en el reclutamiento y la capturabilidad

	Captura (ton)	Renta (US\$ x 10 ⁶)	TPD (% huevos)
(1) f y a50% (actual)			
Mediana	4,566	36.8	27.4
Percentil 15%	4,023	31.5	25.3
Percentil 85%	5,136	42.3	29.5
(2) f RME			
Mediana	4,694	37.2	23.4
Percentil 15%	4,151	32.0	21.3
Percentil 85%	5,276	42.9	25.2
(3) f y a50% (RME)			
Mediana	5,003	37.7	26.2
Percentil 15%	4,444	32.4	24.2
Percentil 85%	5,615	43.7	28.1

5.11 Análisis de riesgo

Al considerar las variabilidades observadas en el reclutamiento y en la capturabilidad, el riesgo de reducir la tasa potencial de desove por debajo del 25% es muy bajo con el escenario de manejo actual, llegando a una probabilidad máxima de 0.12 en el año 2011 (Fig. 30).

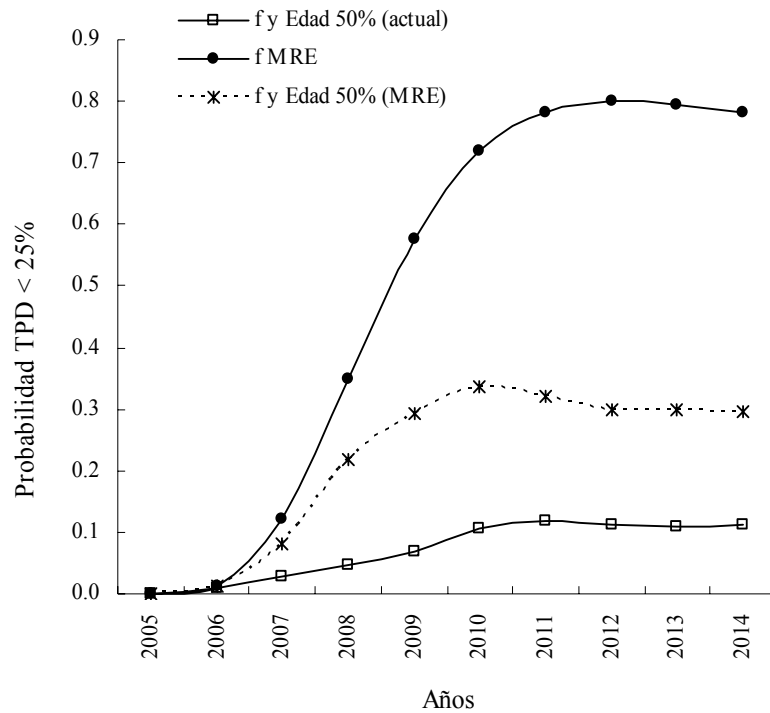


Fig. 30. Probabilidades de sobrepasar el punto de referencia límite de TPD < 25% con tres escenarios de manejo de la pesquería.

Con el escenario 3 (aumentos de esfuerzo y talla mínima) la probabilidad alcanza un máximo de 0.34 en 2010 y se mantiene alrededor de 0.3 en adelante. La opción de incrementar el esfuerzo manteniendo una talla mínima de 69 mm LC, implicaría altas probabilidades de reducción de la TPD por debajo del punto de referencia límite, llegando a 0.35 en 2008 y alcanzando valores superiores a 0.72 a partir de 2011.

6. DISCUSIÓN

La pesquería de langosta espinosa *P. argus* en el Golfo de Batabanó es una actividad altamente beneficiosa, con una renta que representa el 74% de los ingresos, lo cual permite revertir parte de las ganancias al Estado para un uso social y otra parte se invierte en el mantenimiento y modernización de las embarcaciones, las plantas industriales, y demás instalaciones relacionadas con la explotación y comercialización del recurso, a diferencia de la pesquería de la langosta de roca *J. edwardsii* en Nueva Zelanda que fue analizada como sobrecapitalizada por Breen *et al.* (2000).

En Bahamas (Gittens y Braynen, 2003) y Brasil (Martins *et al.*, 2003), los principales países productores de *P. argus* en el área junto a Cuba, esta pesquería ha aportado unos ingresos de 60 y 40 millones US\$ respectivamente como promedio anual durante el período 1998-2001.

Según resultados de Prochaska y Landrum (1981) y Walter *et al.* (1999) la pesquería de esta especie en la Florida produce ingresos entre 25 y 30 millones US\$, de los cuales las ganancias representan entre el 29 y el 32%. Estos autores no consideraron el procesamiento y la comercialización en sus análisis, de los cuales se puede inferir que los costos variables son el principal componente representando entre 74 y 89% de los costos totales, a diferencia del Golfo de Batabanó, donde los costos variables representarían el 49% si se excluyera el costo de procesamiento.

En el Golfo de Batabanó, las capturas de langosta están basadas principalmente sobre seis intervalos de talla de 5 mm, que van desde 71 hasta 100 mm LC, los cuales, al igual que en la pesquería de las Islas de Turcos y Caicos (Clerveaux *et al.*, 2003) representan el 72% del total de individuos desembarcados, a diferencia de la pesquería de *P. argus* en los cayos de la

Florida, donde el 72% se concentra en tres clases de tallas entre 76 y 90 mm LC, lo cual fue calculado a partir de datos presentados por Muller *et al.* (1997). Esto hace que la estructura de edades de las capturas también sea diferente en ambas localidades, al predominar en el Golfo de Batabanó el grupo de 3 años de edad en primer lugar, que junto a la edad 4 representan el 65% de las langostas desembarcadas, mientras que en Florida el principal grupo es el de 2 años de edad que junto al grupo 3, conforman el 65% de las capturas, según cálculos realizados con datos presentados por Muller *et al.* (2000).

Los patrones de explotación tanto por talla como por edad muestran una forma acampanada y las langostas que reciben la mayor mortalidad por pesca están comprendidas entre 81-125 mm LC y 3-6 años de edad. En el caso de Florida, el patrón de explotación también tiene la misma forma, pero desplazado hacia edades menores, en correspondencia con la estructura de tallas de las capturas, por lo que la mayor mortalidad por pesca la reciben las edades de 3 a 5 años.

Esta forma acampanada del patrón de explotación se corresponde con la disponibilidad en el área de pesca de ejemplares de diferentes tamaños, en combinación con la presión pesquera que reciben, la cual a su vez está relacionada con la selectividad de los artes y los métodos de pesca. Son muchos los factores que pueden afectar las propiedades selectivas de un arte de pesca tipo trampa (Krouse, 1989), entre los que se pueden citar el diseño del arte, el tamaño y la forma de la malla, la ubicación, la forma y las dimensiones de la entrada.

El método utilizado en este trabajo para estimar las curvas de selectividad combina los procesos de selectividad y reclutamiento y por lo tanto proporciona los resultados reales de las operaciones de pesca (Sparre y Venema, 1997). De esta forma, se tienen en cuenta tanto la relación entre la talla de las langostas y las características del arte, como la presencia de los

ejemplares en el radio de acción de los dispositivos. Así, las curvas obtenidas no tienen la forma sigmoidea de las ojivas típicas de los artes de arrastre, sino que descienden hacia la derecha después de un valor máximo, indicando que en los ejemplares mayores disminuye la probabilidad de captura, debido al efecto del arte sobre la talla, en combinación con la disponibilidad de las langostas más viejas en la zona de pesca.

Esta forma de la curva coincide con la planteada por Miller (1990) para los artes tipo trampa utilizados en la captura de crustáceos y con los resultados de Morgan (1979) sobre *P. cygnus* en Australia Occidental, quien reporta que las langostas con largos del cefalotórax entre 76 y 85 mm tienen una vulnerabilidad a las trampas 2 ó 3 veces mayor que los ejemplares con más de 85 mm LC.

Según Herrera y Ibarzábal (1995), las langostas en el medio natural prefieren refugios con alturas entre 10 y 40 cm. Si se tiene en cuenta que la mayoría de los refugios artificiales utilizados como principal sistema de pesca en Batabanó tienen alturas de unos 10 cm (Dalmendray y González, 1995 a), esto puede explicar en parte la disminución de la selectividad efectiva en las langostas mayores. Otro factor que también tiene gran influencia sobre este aspecto es la característica de la especie de migrar desde las zonas de cría someras hacia aguas más profundas a medida que los individuos van creciendo, hasta llegar a regiones inaccesibles para la actividad pesquera, de donde difícilmente regresan (González *et al.*, 1991).

Cruz *et al.* (1991 b) estimaron valores de $LC_{50\%} = 64$ mm durante el período 1971-1977 cuando no se respetaba la talla mínima legal (Baisre, 2000 a) y de 70 mm LC en 1978-1986, precisamente cuando el reclutamiento de langostas pequeñas alcanzaba sus máximos valores históricos. Experimentos de campo realizados por Dalmendray y González (1995 b)

sobre la selectividad de los jaulones que se usan en la pesquería comercial, arrojaron como resultado un largo de primera captura $LC_{50\%} = 70$ mm, valor algo inferior al 73.6 calculado en este trabajo sin discernir entre jaulones y arrecifes artificiales. El método utilizado en el presente estudio es recomendado por Hoydal *et al.* (1982) ya que proporciona resultados derivados del efecto combinado selectividad-reclutamiento sin necesidad de hacer suposiciones sobre el arte utilizado.

Según Baisre (2000 a) la explotación de la langosta en Cuba ha pasado claramente por las fases típicas de desarrollo de una pesquería descritas por Caddy (1984). En el caso del Golfo de Batabánó, el incremento de 5,005 ton anuales como promedio durante el período 1956-1977, a 7,034 ton en 1978-1989, estuvo relacionado con un mejor cumplimiento de las medidas regulatorias a partir de 1978 (Baisre *et al.*, 1982; Baisre, 2000 a), principalmente la extensión del período de veda de 1.5 a 3 meses y el respeto de la talla mínima legal, con la consiguiente disminución en el desembarque de ejemplares preadultos y juveniles.

Otro factor que ha contribuido con las variaciones de la captura, ha sido el grado de explotación. Entre 1978 y 1987 la tasa de mortalidad por pesca se mantuvo en valores elevados entre 0.34 y 0.50 (tasa de explotación entre 50 y 60%), correspondiendo con un esfuerzo pesquero entre 24,000 y 30,000 días de pesca. Ambos índices descendieron a continuación, principalmente entre 1990 y 1993 por dificultades en la economía cubana. Los incrementos posteriores en la intensidad de explotación no alcanzaron los niveles anteriores, ya que después de subir hasta $F = 0.34$ y $f = 21,477$ días de pesca en 1999, se produjo una tendencia descendente hasta niveles mínimos de $F = 0.18$ en 2003 y $f = 14,376$ días de pesca en 2004. Esta situación se corresponde con la disminución gradual del número de embarcaciones que se puede ejemplificar con las cifras de 221 barcos en el año 1973, 136 en

1991 y 117 en 2004, además de una reducción del número de días de pesca promedio por embarcación en la etapa actual, desde 179 en el año 1999 hasta 123 días de pesca por barco en 2004, como resultado de haber ampliado el período de veda de 3 meses (marzo-mayo) a 4 meses (febrero-mayo) desde el año 2002.

Durante la etapa más reciente de 2000-2004, la F promedio ha sido de 0.24, pero para todo el período estudiado, la F ha variado entre 0.18 y 0.50, de forma similar a la pesquería de *P. argus* en los cayos de la Florida, cuyas variaciones se encontraron entre 0.21 y 0.46 durante la etapa 1987-2000, valores calculados a partir de los resultados de mortalidad por pesca obtenidos por Muller *et al.* (2000) mediante un análisis de población virtual realizado con la estructura de edad de las capturas. Para esta misma especie en México y también con métodos basados sobre la estructura de edades, Ramírez *et al.* (2005) reportaron valores semejantes de F entre 0.20 y 0.40 durante el período 1999-2004 en Quintana Roó, mientras que Ríos y Monroy (2005) obtuvieron un valor de $F = 0.31$ para la temporada 2004/2005 en Yucatán. Variaciones similares en la mortalidad por pesca y la capturabilidad fueron encontradas también por González *et al.* (2005) en el Golfo de Batabanó, mediante la aplicación de un modelo de decaimiento que no tiene en cuenta la estructura por tallas o edades.

Aunque en el caso de la pesquería de la Florida parece no haber una relación significativa entre la mortalidad por pesca y el esfuerzo pesquero medido como número de nasas o número de viajes, la capturabilidad promedio ($q = 1.24 \times 10^{-5}/\text{viaje}$, $CV = 22.7\%$) es muy similar aunque más variable que la observada en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó ($q = 1.40 \times 10^{-5}/\text{día de pesca}$, $CV = 13.6\%$).

Otro factor que debe haber contribuido con las variaciones de las capturas, es el éxito del reclutamiento en dependencia de las condiciones vigentes en la plataforma cubana, ya que

la incidencia del número de langostas con un año de edad es significativa sobre las capturas en peso a los 2 años siguientes. Posteriormente a 1989, las capturas en el Golfo de Batabanó descendieron drásticamente a 4,170 ton en 1990, posiblemente por una afectación a las áreas de cría debido al paso del huracán Gilbert con la máxima categoría de 5 en la escala de Zaffir-Simpson, por los mares al sur de Cuba durante 1988 (Baisre, 2000 a; Puga *et al.*, 1995). Este impacto debió afectar la sobrevivencia de los reclutas, los cuales debían contribuir con las capturas del principal grupo de 3 años de edad a los dos años siguientes y por lo tanto, en 1990 ocurrió un descenso de la capturabilidad al valor mínimo de $q = 0.96 \times 10^{-5}$ / día de pesca para todo el período estudiado. Este hipótesis es sustentada también por González-Cano *et al.* (2001) para la pesquería de Quintana Roó, donde las capturas descendieron abruptamente en un 60% entre 1988 y 1993, en comparación con años previos.

A partir de 1990, las capturas en el Golfo de Batabanó quedaron a un nivel inferior al obtenido en la década de los 1980's, aún cuando la mortalidad por pesca y el esfuerzo experimentaron tendencias crecientes desde 1994 hasta 1999, después de haberse mantenido en niveles bajos entre 1990 y 1993 como consecuencia de serias dificultades sufridas en el sistema económico cubano, lo cual se supone que debió contribuir con la recuperación de la abundancia de la población.

Todo parece indicar que las condiciones imperantes en la plataforma del Golfo de Batabanó a partir del año 1990 han dificultado la recuperación del reclutamiento a la pesquería, el cual alcanzó su máximo nivel durante 1977-1987 con 46 millones como promedio, para descender en un 35% hasta un promedio de 30 millones entre 1991 y 2004. El reclutamiento medio para todo el período analizado fue de 36.5 millones, algo más del doble del calculado para Florida (16.2 millones), resultado lógico si se tiene en cuenta que la captura

media histórica del Golfo de Batabanó (alrededor de 5,500 ton), duplica a la cifra de 2,530 ton de Florida.

Las variaciones en el reclutamiento han sido observadas en otras poblaciones de langostas, llegando a ser hasta del 50% en los casos de *P. argus* en Florida (según datos de Muller *et al.*, 2000) y Brasil (Ehrhardt y Sobreira, 2003), *P. cygnus* en Australia Occidental (Caputi *et al.*, 2001) y *P. marginatus* en Hawai (Polovina *et al.*, 1995). González-Cano *et al.* (2001) reportan una reducción del reclutamiento del 75% para *P. argus* en Quintana Roó, desde un promedio anual de aproximadamente 415,000 individuos entre 1982 y 1987, a casi 80,000 durante más de diez años a partir de 1988, lo cual se atribuye al efecto provocado por el paso del huracán Gilbert sobre la dinámica del recurso y en las condiciones de las áreas de crianza y de captura. En general, todos los autores coincidieron en afirmar que estas variaciones no pueden ser atribuidas solamente al efecto de la explotación pesquera, ya que argumentaron evidencias de relaciones con las condiciones ambientales.

Como consecuencia de los buenos reclutamientos en los 1980's y de su disminución posterior en los 1990's, la estructura de tallas de la población de Batabanó se vio desplazada hacia langostas con mayores largos a mediados de los 1990's (León *et al.*, 1997) lo cual se correspondió con un incremento de la biomasa de individuos mayores de 4 años de edad y del número de huevos producidos por la población entre 1990 y 1996, ya que en las langostas mayores aumentan la maduración y la fecundidad (Cruz y León, 1991), así como la frecuencia de desove (Lipcius, 1985).

La posible existencia de una relación stock-reclutamiento está basada en la capacidad de auto sostenimiento de la población de langosta del Golfo de Batabanó, derivada de los resultados de varias investigaciones. Estudios realizados simultáneamente sobre distribución

de larvas (Alfonso *et al.*, 1991) y patrones de circulación oceánica (García *et al.*, 1991 a) motivaron a sus autores a plantear la existencia de mecanismos de retención de las larvas producidas en gran cantidad en las zonas profundas al borde del talud, donde las hembras presentan mayores tallas y actividad reproductiva de forma significativa (Cruz y León, 1991; González *et al.*, 1991). Estos patrones de circulación son permanentes, como lo demuestran las determinaciones telemétricas del nivel del mar con imágenes de satélite presentadas por Pérez *et al.* (2005), donde se aprecian los mismos giros ciclónicos y anticiclónicos descritos anteriormente por García *et al.* (1991 a) mediante métodos geostroáficos.

Hernández *et al.* (1995) y posteriormente Hernández y Piñeiro (2003), plantean la hipótesis de un mecanismo de retención de larvas y nutrientes basado en los movimientos de las capas de aguas superficiales y la profundidad de la termoclina debido a los efectos del viento.

Teniendo en cuenta los sistemas de corrientes, Robert (1997) caracterizó al sur de Cuba como un área con propiedades favorables para la retención y desarrollo de larvas. Lindeman *et al.* (2001) estudiaron los movimientos de circulación de las aguas oceánicas al suroeste de Cuba, mediante el monitoreo por satélite de boyas a la deriva, encontrando que estas permanecieron atrapadas en giros al sur del Golfo de Batabanó por períodos entre uno y ocho meses, lo cual apoya la hipótesis de la retención de larvas, conociendo que la duración de la etapa larval oceánica es precisamente de 6-8 meses (Baisre, 1976; Alfonso *et al.*, 1991). Yeung *et al.* (2001) también sugieren un mecanismo de retención de las larvas locales de *P. argus* fuera de los cayos de la Florida, basado en la duración de 6-8 meses de esta fase, y en la existencia de patrones de circulación compuestos por giros y sistemas de contracorrientes.

Es obvio que estos procesos oceánicos permanentes pueden presentar variaciones estacionales e interanuales en relación con las condiciones climáticas, e incluso pueden modificarse drásticamente por la influencia de eventos extremos como los huracanes. En septiembre de 2004, el huracán Iván, con categoría de 4 y 5, describió un recorrido muy similar al huracán Gilbert y se pudo comprobar que afectó significativamente las condiciones oceanográficas en general y que el sistema de circulación al sur del Golfo de Batabanó tardó un mes en recuperar su patrón habitual (Pérez *et al.*, 2005), lo cual pudiera tener consecuencias importantes sobre la supervivencia de las larvas en el océano y por lo tanto en el éxito del asentamiento de puerulos en la plataforma, que se produce fundamentalmente entre septiembre y noviembre (Cruz *et al.*, 1991 a). El paso de ciclones con categoría de huracán directamente sobre el Golfo de Batabanó o por los mares adyacentes, ha sido de 2 huracanes en 25 años entre 1963 y 1987, pasando a 9 en 18 años entre 1988 y 2005 (Dhuthit *et al.*, 2005). En particular, un huracán en 1999 y dos en el año 2002, incidieron directamente sobre la calidad de los fondos de las zonas de pesca del Golfo, lo cual puede haber causado las grandes variaciones observadas en la capturabilidad y por lo tanto en las capturas del período 2000-2004. Uno de ellos, el Isidore, también dañó los fondos de Yucatán en el año 2002 y se le atribuye el descenso de la captura en 2003 (Ríos y Monroy, 2005), de forma semejante a lo ocurrido en Batabanó. La incidencia de las condiciones climáticas en general y del notable incremento de la frecuencia de huracanes sobre la situación actual de bajos reclutamientos y capturas, debe ser objeto de una investigación especializada.

Pero no es solamente el efecto ambiental debido a eventos extremos y a variaciones climáticas lo que puede haber afectado los niveles de reclutamiento, abundancia y captura de la langosta. Son bien conocidas las influencias debido a las acciones socio-económicas del

hombre en tierra firme, como son el desarrollo agrícola, industrial y turístico, con las consiguientes modificaciones en el aporte de agua dulce y de nutrientes a las zonas costeras (Caddy y Bakun, 1995). En Cuba, debido al represamiento de los ríos iniciado a principios de los 1970's, se estima que en la actualidad solamente está llegando a la zona costera el 80% del aporte fluvial en comparación con el volumen inicial (Piñeiro, 2004). Ya en 1990 la capacidad de embalse había alcanzado la cifra de 9,300 millones m³, lo cual significó un incremento del 82% en comparación con la capacidad existente a finales de los 1970's. En la actualidad, los 10,000 millones m³ de capacidad de los embalses en Cuba representan una considerable proporción del 26% del volumen total de los recursos hídricos potenciales del país, estimado en 38,100 millones m³ (Paretas y Herrera, 1999).

Las modificaciones hidrológicas en tierra, como el represado de los ríos, pueden ocasionar una reducción del aporte de nutrientes al mar (Jickells, 1998; Ittekkot *et al.*, 2000), lo cual a su vez puede disminuir la productividad de recursos pesqueros costeros como los crustáceos y moluscos (Caddy y Defeo, 2003).

Según Claro *et al.* (2004), algunas evidencias indican que al efecto de la pesca se han sumado alteraciones ambientales que pueden haber afectado los recursos pesqueros en otras zonas de Cuba. La construcción de carreteras a través de la plataforma para unir la isla principal con los cayos que la bordean, la contaminación y el represamiento de casi todos los ríos, afectaron notablemente la calidad del medio marino en varias macrolagunas y los manglares, lo cual redujo las áreas de cría de especies comerciales y la biomasa de peces en las mismas.

Baisre (2000 b) menciona el uso de fertilizantes en la agricultura como otro aspecto que combinado con el represamiento de los ríos, puede haber afectado el acarreo de nutrientes

hacia las zonas costeras y sugiere una incidencia de este fenómeno sobre el descenso de las capturas en la mayor parte de los recursos pesqueros en Cuba desde finales de los 1980's. El consumo de fertilizantes en la década de los 1980's llegó casi a triplicar las cantidades utilizadas en años anteriores, y después de las dificultades en la economía cubana, esta actividad se redujo drásticamente a partir de 1990, llegando a un 30% de 1993 en adelante. Es probable que el efecto combinado del aumento del represamiento y la disminución del uso de fertilizantes, entre otros factores, esté contribuyendo con los bajos niveles de reclutamiento actuales en la langosta, a través de posibles afectaciones en la disponibilidad de hábitat y alimento de los juveniles que dependen de las áreas de cría en la zona costera, tal como sugieren Capetillo y Lopeztegui (2005) al comparar el potencial alimentario actual con épocas anteriores. Este también es un aspecto que requiere ser objeto de una investigación especializada.

Debido a la posible influencia de factores de índole ambiental, las relaciones del número de huevos con el reclutamiento, aunque significativas, solo explican una parte reducida de su variabilidad. Al parecer, condiciones limitantes en la disponibilidad de alimento y/o hábitat en la plataforma, pueden estar determinando la naturaleza denso dependiente de la relación stock-reclutamiento, la cual se ajusta mejor a curvas con forma de domo tipo Ricker, que a la curva asintótica de Beverton y Holt. Según Rose *et al.* (2001), las relaciones denso dependientes pueden manifestarse debido a la reducción del alimento y a limitaciones en la calidad y la disponibilidad del hábitat. En Australia, Morgan *et al.* (1982) describen una relación stock-reclutamiento para *P. cygnus* y consideran que después del asentamiento de los puerulos prevalecen las relaciones denso dependientes. Ehrhardt y

Sobreira (2003) también sugieren la existencia de densa dependencia en la relación S-R de *P. argus* en Brasil.

Los resultados encontrados en este trabajo sobre relación stock-reclutamiento, coinciden con las afirmaciones de Whale (2003), quien concluye que estas relaciones son muy difíciles de cuantificar en cangrejos y langostas debido a las grandes influencias ambientales sobre las larvas en el medio pelágico. Una vez que se produce el asentamiento bentónico de las postlarvas, las relaciones de densa dependencia comienzan a prevalecer, determinando la forma no lineal de las curvas tipo Ricker que relacionan la abundancia de juveniles con las capturas, como en el caso de *P. cygnus* en Australia (Caputi *et al.*, 1995).

Una de las mayores fuentes de variabilidad y por lo tanto de incertidumbre en los recursos marinos es la relación entre el stock desovador y el reclutamiento (Mace y Sissenwine, 2000) y se considera que determinar este tipo de relaciones es extremadamente difícil en el caso particular de las langostas (Addison, 1997).

En el Golfo de Batabanó, Puga *et al.* (2005) estimaron una relación S-R con el modelo de Ricker que explicó el 68% de la variabilidad del reclutamiento para el período 1974-2002. Teniendo en cuenta que la extensión del análisis a la etapa 1963-2004 no arrojó mejores resultados, en este trabajo se decidió utilizar la función de densidad de probabilidades del reclutamiento durante el período 1991-2004 como entrada en la versión estocástica del modelo de dinámica poblacional, mediante la combinación de los métodos de remuestreo “bootstrap” en el ajuste del ASP y de simulación de Monte Carlo en el análisis de riesgo para diferentes escenarios de manejo.

De forma similar, Shepherd (2002) también empleó el método de “bootstrap” en el ajuste del ASP (ADAPT) con datos de abundancia por edad de la lubina estriada *Morone*

saxatilis, para obtener distribuciones de frecuencia de F y N por edad. Las variaciones del tamaño de la población, derivadas de la aplicación de niveles determinados de F en una proyección de 10 años, fueron simuladas por el método de Monte Carlo mediante un modelo estocástico de Thompson y Bell, considerando como fuente de incertidumbre la variabilidad de la estructura de la población en el último año resultante del remuestreo con “bootstrap”.

Legault *et al.* (2002) también combinaron los métodos de Monte Carlo y “bootstrap” para la evaluación de la macarela en el Atlántico y el Golfo de México, mediante el ajuste de un ASP con el método ADAPT, incorporando incertidumbre en las capturas a la edad y en la tasa de mortalidad natural M, para posteriormente simular diferentes escenarios de mortalidad por pesca, utilizando las funciones de densidad de probabilidades obtenidas.

Hobday y Punt (2001) analizaron el riesgo de alcanzar puntos de referencia basados en la biomasa y la producción de huevos de la langosta de roca *J. edwardsii* en el sureste de Australia, para lo cual realizaron proyecciones de estas variables con diferentes niveles de explotación. La incertidumbre en las simulaciones fue asumida mediante el remuestreo aleatorio de los reclutamientos observados durante los últimos 10 años del período evaluado, sin tener en cuenta ninguna función de relación S-R.

Simpfendorfer *et al.* (2000) realizaron un análisis de riesgo del efecto de diferentes niveles de explotación sobre la biomasa del tiburón *Furgaleus macki* en el suroeste de Australia, incorporando incertidumbre en el reclutamiento al tratarlo como un parámetro de entrada con distribución normal y coeficiente de variación $CV = 20\%$.

Las razones para realizar análisis de riesgo responden a las necesidades de perfeccionar la forma de ofrecer las recomendaciones a los administradores pesqueros y de tener en cuenta un enfoque precautorio (Francis y Shotton, 1997). Una de las vías en que se puede abordar el

problema es considerando la forma en que los administradores enfrentan el riesgo en el proceso de toma de decisiones (Seijo *et al.*, 1998). En este caso, el análisis de riesgo se realizó para proveer recomendaciones sobre diferentes niveles de esfuerzo y talla mínima legal en la pesquería de langosta del Golfo de Batabanó, mediante la evaluación de los efectos esperados sobre la producción de huevos con cada escenario, cuantificando la probabilidad de sobrepasar un punto de referencia límite. El punto de referencia fue definido como la tasa potencial de desove $TPD < 25\%$. Gardner *et al.* (2004) también definen como punto de referencia límite una TPD del 25% en la pesquería de *J. edwardsii* en Tasmania. Este es un punto de referencia precautorio si se tiene en cuenta que en los Estados Unidos se considera que existe sobrepesca del reclutamiento en las pesquerías de *Homarus americanus* y de *P. argus*, cuando la TPD se encuentra por debajo del 10% y 5% respectivamente (Addison, 1997).

Los planes de manejo del 60% de las pesquerías en los Estados Unidos contienen criterios de sobrepesca basados en puntos de referencia límites relacionados con la TPD (Mace y Sissenwine, 1993).

Los puntos de referencia objetivo (PRO) indican un estado de una pesquería que se considera deseable y en el cual debe adoptarse una acción de ordenación, ya sea durante el desarrollo o la recuperación de la población, mientras que los puntos de referencia límite (PRL) indican un estado que se considera indeseable y que la acción de ordenación debe evitar (Seijo *et al.*, 1998). La clasificación de los puntos de referencia dependerá de los intereses de los grupos asociados en la explotación y manejo del recurso. Por ejemplo, la mortalidad por pesca al nivel del MRS (F_{MRS}) es considerada por Mace (2001) como un PRL que se debe evitar y no como un PRO que puede ser sobrepasado sistemáticamente.

Las curvas de captura e ingreso en la pesquería de langosta de Batabanó presentan trayectorias semejantes por ser equivalentes, o sea, los ingresos dependen linealmente de la captura en función de los precios, y por esto en el punto de MRS se obtienen los mayores ingresos y capturas. Sin embargo, en la curva de la renta, después de deducir los costos a los ingresos, el punto de RME se obtiene a un nivel de esfuerzo inferior, por lo que este es más precautorio para la explotación sostenible del recurso, tal como plantea Caddy (1984).

En relación con la talla (edad) de primera captura, sería necesario incrementar la talla mínima legal desde la actual 69 mm LC hasta al menos 74 mm LC, e incluso parece conveniente combinar una talla de 81 mm LC con un aumento del esfuerzo hasta unos 22,000 días de pesca, lo cual indudablemente debería realizarse de forma paulatina para evitar los cambios bruscos que tales medidas producirían a corto plazo. Este escenario de manejo es el que debe producir las mayores capturas, ingresos y rentas de forma sostenible, con pocas probabilidades de reducir la TPD por debajo del 25%. Incrementos del esfuerzo, incluso al nivel considerado como precautorio del MRE, sin aumentar la talla mínima, pueden conducir a sobrepasar el punto de referencia límite con altas probabilidades de riesgo.

Cruz *et al.* (1991 b) recomendaron una talla mínima legal de 77 mm LC para esta pesquería, mientras que González-Cano *et al.* (2001) también analizaron el efecto simultáneo de la talla y el esfuerzo para recomendar una talla mínima legal de 14.5 cm de largo abdominal (equivalente a 80.5 mm LC) en la pesquería de *P. argus* en Quintana Roó. En Islas Magdalena (Canadá) la talla mínima en la pesquería de *H. americanus* fue incrementada desde 76 hasta 83 mm LC a un ritmo de 1 mm por año entre 1997 y 2003, lo cual repercutió favorablemente en la estructura de tallas de las capturas y en la abundancia de hembras ovígeras (Gendron, 2005).

Tabla VIII. Tallas mínimas legales por países, de la langosta *P. argus* (FAO, 2003)

País	Talla mínima (LC mm)
Venezuela	120
Santa Lucía	95
San Vicente y las Granadinas	95
Bermuda	92
Puerto Rico	89
Turcos y Caicos	83
Bahamas	82.5
República Dominicana	80.5
Honduras	80.1
Colombia (Isla San Andrés)	80.1
Belice	76.2
Jamaica	76.2
USA (Florida)	76
Brasil	75
Nicaragua	75
México	74.6
Cuba	69
Colombia (Guajira)	69

La talla mínima legal en Cuba vigente hasta 2004 es la más pequeña en los países de la región donde existen pesquerías de *P. argus* (Tabla VIII), su aumento, además de favorecer los resultados de la pesquería, debe contribuir con un mejor desempeño de la actividad reproductiva, conociendo que la talla de primera maduración es de 81 mm LC (Cruz y León, 1991).

La situación actual de la población de langosta en el Golfo de Batabanó, se caracteriza por bajos niveles de reclutamiento, lo cual determina que no se deben esperar capturas sostenibles a corto y mediano plazo similares a las alcanzadas en épocas anteriores, como en la década de los 1980's. De mantenerse el reclutamiento al nivel de los últimos 14 años, ni siquiera la variante de incrementar el esfuerzo y la talla mínima producirían incrementos de las capturas a niveles anteriores, ya que las cifras estimadas para el nivel de MRE están entre

4,444 y 5,615 ton para el Golfo de Batabanó, lo que supondría unas 7,400-9,360 ton para todo el país. Esta situación se refleja en los estimados de captura al nivel de MRS presentados por varios autores (Tabla IX), siendo la cifra actual de 4,800 ton para el Golfo de Batabanó, lo cual significaría unas 8,000 ton como promedio a nivel nacional.

Tabla IX. Estimados de captura (ton) al nivel de MRS

Autor	Nacional	G. Batabanó
Puga <i>et al.</i> (1991)	12,318	*7,391
Puga <i>et al.</i> (1995)	11,890	*7,134
Chávez (2001)	14,453	*8,672
Puga <i>et al.</i> (2003)	9,734	*5,840
Este trabajo	*8,000	4,800

* Estimado en este trabajo a partir de la relación de 0.6 entre las capturas del Golfo de Batabanó y las nacionales.

De los estimados realizados anteriormente se puede suponer que algunos (Puga *et al.*, 1991 y Puga *et al.*, 1995) estuvieron influenciados por la situación de alto reclutamiento y abundancia de los 1980's. El resultado de Chávez (2001) parece muy sobre estimado, teniendo en cuenta que se utilizaron estadísticas hasta 1996, cuando ya hacía 7 años que las capturas habían descendido por debajo de las 9,900 ton. También resulta contradictorio el resultado obtenido por Chávez (2001) de 1.0 años como la edad de primera captura que produce el MRS, edad con que las langostas se encuentran en áreas de cría como juveniles fuera del alcance de la pesca, a cuya área se incorporan con 2.25 años como promedio (Cruz *et al.*, 1991 a; León *et al.*, 1991 a). En correspondencia con esos resultados basados sobre observaciones de campo de las diferentes fases del ciclo de vida, en este estudio se encontró que el grupo de

1.0 años solamente conforma el 0.11% de la captura, que la edad de primera captura (50% de selección) es de 2.65 años y la de MRS sería de 3.24 años con el nivel de esfuerzo actual.

Maximizar la captura, limitar su variabilidad interanual y minimizar las probabilidades de reducir la abundancia del stock, son tres objetivos en conflicto que deben ser balanceados (Holt, 1998). Disponer de una herramienta bioeconómica como la desarrollada en este estudio, es esencial para el manejo de una pesquería, donde el objetivo principal debe ser obtener los mayores beneficios económicos de forma sostenible en el tiempo (Hannesson, 2001).

El acceso limitado por si solo no es suficiente para resolver todos los problemas del ordenamiento de una pesquería (Charles, 2002). Para optimizar los beneficios económicos de forma sostenible en la explotación de *P. argus* en Cuba, el esfuerzo permisible debe ser determinado cuidadosamente cada año, mediante la evaluación del estado del recurso y teniendo en cuenta los objetivos de la pesquería y los intereses de los grupos relacionados con su explotación (Cochrane, 2002).

7. CONCLUSIONES

La explotación de la langosta espinosa *P. argus* es una actividad económica y socialmente beneficiosa para Cuba, al aportar ingresos por unos 72 millones US\$ anuales. En el Golfo de Batabanó, donde se obtiene el 60% de la captura, las ganancias netas constituyen el 74% de los ingresos, lo cual representó unos 35.2 millones US\$ anuales como promedio durante el período 2000-2004.

En las capturas se pueden encontrar individuos a partir de 45 mm LC y 1 año de edad, aunque la mayoría de las langostas se encuentran entre largos de 71 y 100 mm (72%) y edades de 3 y 4 años (65%).

La disponibilidad de langostas por tallas y la selectividad de los artes y métodos de pesca, producen un efecto combinado que condiciona la forma acampanada del patrón de explotación, siendo los ejemplares entre 81 y 125 mm LC (3-6 años de edad), los que reciben las mayores tasas de mortalidad por pesca. La talla mínima legal de 69 mm LC, vigente hasta 2004, determinó valores de largo de primera captura $LC_{50\%} = 73.6$ mm y edad de primera captura $a_{50\%} = 2.65$ años.

El esfuerzo pesquero expresado en días de pesca ha variado significativamente en relación con el número de embarcaciones, con fluctuaciones debido a las condiciones económicas y a la duración del período de veda. La tasa de mortalidad por pesca (F), con valores entre 0.18 y 0.50, depende significativamente del esfuerzo pesquero y alcanzó su mayor nivel con anterioridad a 1987, cuando la tasa de explotación estuvo por encima del 50%. En la actualidad, el esfuerzo y la mortalidad por pesca se mantienen en niveles reducidos en correspondencia con la extensión del período de veda de 90 a 120 días desde el año 2002, por lo que las variaciones observadas en las capturas entre 2000 y 2004 están relacionadas con

cambios bruscos en la capturabilidad, posiblemente debido al incremento en la frecuencia de huracanes que afectaron directamente la zona en ese período.

El reclutamiento y el tamaño total de la población disminuyen desde 1983 y 1984 respectivamente, para mantenerse en valores bajos y relativamente estables entre 1991 y 2004. Las relaciones entre el número de huevos y el reclutamiento, débiles pero significativas, sugieren la existencia de mecanismos de densidad dependencia controlando la abundancia de los reclutas, posiblemente por la influencia de las condiciones ambientales en las áreas de cría costeras, a través de la disponibilidad de alimento y/o hábitat.

La incidencia significativa del reclutamiento sobre las capturas ha contribuido con que estas se mantengan en niveles bajos desde 1990, a pesar de las variaciones del esfuerzo y la mortalidad por pesca. De mantenerse el reclutamiento en valores cercanos a los observados durante los últimos 14 años, no deben esperarse volúmenes de captura similares a épocas anteriores.

Una opción para incrementar los ingresos económicos, las capturas y la renta de forma sostenible de acuerdo con la potencialidad actual del recurso, sería incrementar la talla mínima legal y el esfuerzo pesquero de forma gradual hasta 81 mm LC y 22,110 días de pesca, con poco riesgo de disminuir la tasa potencial de desove por debajo del 25%. De cualquier forma, es necesario incrementar la talla mínima al menos hasta 74 mm LC. Debido a la variabilidad del reclutamiento y la capturabilidad, se deben esperar capturas entre 4,444 y 5,615 ton y rentas entre 32.4 y 43.7 millones US\$.

8. REFERENCIAS

- Addison, J.T., 1997. Lobster stock assessment: report from a workshop. I. Mar. Freshwater Res. 48, 941-944.
- Alfonso, I., Frías, M.P., Baisre, J.A., Campos, A., 1991. Distribución y abundancia de larvas de la langosta *Panulirus argus* en aguas alrededor de Cuba. Rev. Inv. Mar. 12(1-3), 5-19.
- Alfonso, A., Sotomayor, R., Cruz, R., Puga, R., León, M.E. de., 1995. Software para la evaluación de la biología y la pesquería de la langosta (*P. argus*) en Cuba. Rev. Cub. Invest. Pesq. 19(2), 77-81.
- Anderson, L.G., 1986. The Economics of Fisheries Management, revised and enlarged ed. University Press, Johns Hopkins.
- Arce, A.M., León, M.E. de., 2001. Biology. In: Report on the FAO/DANIDA/CFRAMP/WECAFC Regional Workshop on the Assessment of the Caribbean Spiny Lobster. FAO Fish. Rep. 619, 17-25.
- Baisre, J. 1976. Distribución de las larvas de *Panulirus argus* y *Scyllarus americanus* (Crustacea, Decapoda) en aguas alrededor de Cuba. Rev. Inv. Inst. Nac. Pesca Cuba. 2(3), 277-297.
- Baisre, J.A., 2000 a. The Cuban spiny lobster fishery. In: Phillips, B.F., Cobb, J.S., Kittaka, J. (Eds.), Spiny Lobsters Fisheries and Culture. Fishing News Books, London, pp. 135-154.
- Baisre, J.A., 2000 b. Chronicles of Cuban marine fisheries (1935-1995). Trend analysis and fisheries potential. FAO Fish. Tech. Pap. 394, 1-26.
- Baisre, J., Pérez, A., Obregón, M.H., Cruz, R., 1982. Regulation of fishing effort in Cuban shelf fisheries: the cases of studies of shrimp, lane snapper and spiny lobster fisheries. FAO Fish. Rep. 289 Suppl. 3, 365-390.
- Baisre, J.A., Ruiz de Quevedo, M.E., 1964. Sobre los estudios larvales de la langosta común, *Panulirus argus*. Contr. Inst. Nat. Pesca Cuba. 19, 1-37.
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. U.K. Ser. II.19, 1-533.
- Breen, P.A., Gilbert, D.J., Chant, K., 2000. Bioeconomic modelling of the New Zealand fishery for the red rock lobsters (*Jasus edwardsii*). In: Phillips, B.F., Cobb, J.S., Kittaka, J. (Eds.), Spiny Lobsters Fisheries and Culture. Fishing News Books, London, pp. 376-387.
- Buesa, R.J., 1965. Biología de la langosta *Panulirus argus*, (Latreille, 1804) (Crustacea Decapoda Reptantia) en Cuba. Instituto Nacional de la Pesca. pp. 190-228.

- Caddy, J.F., 1984. An alternative to equilibrium theory for fishery management. *Fao Fish. Rep.* 289(2), 173-214.
- Caddy, J.F., 1998. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations. *FAO Fish. Tech. Pap.* 379. 30 pp.
- Caddy, J.F., Bakun, A., 1995. Marine catchment basins and anthropogenic effects on coastal fishery ecosystems. In: *FAO (Eds.), Effects of riverine inputs on coastal ecosystems and fisheries resources.* *FAO Fish. Tech. Pap.* 349. 133 pp.
- Caddy, J.F., Defeo, O., 2003. Enhancing or restoring the productivity of natural populations of shellfish and other marine invertebrate resources. *FAO Fish. Tech. Pap.* 448, 1–159.
- Caddy, J.F., Mahon, R., 1996. Puntos de referencia para la ordenación pesquera. *FAO Doc. Téc. Pesca.* 347. 109 pp.
- Capetillo, N., Lopeztegui, A., 2005. Evaluación del zoobentos alimentario de la langosta *Panulirus argus* al sur de Pinar del Río y este de la Isla de la Juventud, Golfo de Batabanó, Cuba. Trabajo presentado en el evento PESCA2005. Marzo 2005, La Habana, Cuba.
- Caputi, N., Chubb, C.C., Brown, R.S., 1995. Relationships between spawning stock, environment, recruitment and fishing effort for the western rock lobster, *Panulirus cygnus*, fishery in Western Australia. *Crustaceana*, 68(2), 213-226.
- Caputi, N., Chubb, C.C., Pearce, A., 2001. Environmental effects on recruitment on the western rock lobster, *Panulirus cygnus*. *Mar. Freshwater Res.* 52, 1167-1174.
- Charles, A.T., 2002. Use rights and responsible fisheries; limiting access and harvesting through rights-based management. In: *Cochrane, K.L. (Ed.), A Fishery Manager's Guidebook. Management Measures and Their Application.* *FAO Fish. Tech. Pap.* 424, 131–158.
- Chávez, E.A., 2001. Policy design for spiny lobster (*Panulirus argus*) management at the Meso-American barrier reef system. *Crustaceana* 74(10), 1119-1137.
- Clarke, R.P., Yoshimoto, S.S., Pooley, S.G., 1992. A bioeconomic analysis of the Northwestern Hawaiian islands lobster fishery. *Mar. Resour. Econ.* 7, 114–140.
- Claro, R., García, J.P., Gobert, B., Cantelar, K., Valle, S., Pina, F. 2004. Situación actual de los recursos pesqueros del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 33, 49-67.
- Clerveaux, W., Puga, R., Medley, P., 2003. National report on the spiny lobster fishery of The Turks and Caicos Islands. *FAO Fish. Rep.* 715, 135-143.

- Cochrane, K.L., 2002. The use of scientific information in the design of management strategies. In: Cochrane, K.L. (Ed.), A Fishery Manager's Guidebook. Management Measures and Their Application. FAO Fish. Tech. Pap. 424, 95–130.
- Cruz, R., Baisre, J.A., Díaz, E., Brito, R., García C., Carrodegua, C., 1990. Atlas Biológico-Pesquero de la Langosta en el archipiélago Cubano. Pub. Esp. Rev. Cuba. Inv. Pesq. y Rev. Mar y Pesca. 125 pp.
- Cruz, R., Coyula, R., Ramírez, A.T., 1981. Crecimiento y mortalidad de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) en la plataforma suroccidental de Cuba. Rev. Cub. Invest. Pesq. 6(4), 89-119.
- Cruz, R., León, M.E. de, 1991. Dinámica reproductiva de la langosta (*Panulirus argus*) en el archipiélago cubano. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 234-245.
- Cruz, R., León, M.E. de, Díaz, E., Brito, R., Puga, R., 1991 a. Reclutamiento de puerulos de langosta (*Panulirus argus*) a la plataforma cubana. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 66-75.
- Cruz, R., Phillips, B.F., 1994. The artificial shelters (pesqueros) used for the spiny lobster (*Panulirus argus*) fisheries in Cuba. In: Phillips, B.F., Cobb, J.S., Kittaka, J. (Eds.), Spiny Lobster Management. Fishing News Books, London, pp. 323–339.
- Cruz, R., Puga, R., León, M.E. de, 1995. Prediction of commercial catches of the spiny lobster *Panulirus argus* in the Gulf of Batabanó, Cuba. Crustaceana 68(2), 238-244.
- Cruz, R., Sotomayor, R., León, M.E. de, Puga, R., 1991 b. Impacto en el manejo de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) en el archipiélago cubano. Rev. Invest. Mar., 12(1-3), 246-253.
- Dalmendray, J., González, A., 1995 a. Traditional and lifting artificial shelters (pesqueros) used for lobsters (*Panulirus argus*) fisheries in Cuba. Preliminary results about their fishing efficiency and selectivity. Proceedings of the International Conference on Ecological System Enhancement Technology for Aquatic Environments. Japan International Marine Science and Technology Federation. Vol II. pp. 774-779.
- Dalmendray, J., González, A., 1995 b. Selectividad de la malla de las trampas o jaulones en la pesca de la langosta (*Panulirus argus*) en Cuba. Rev. Cub. Invest. Pesq. 19(2), 57-62.
- Dhuthit, R., Puga, R., Piñeiro, R., Cobas, S., León M.E. de. 2005. Relación de los huracanes con las capturas de langosta espinosa en el Golfo de Batabanó. Trabajo presentado en el evento PESCA2005. Marzo 2005, La Habana, Cuba.
- Efron, B. 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife. Ann. Stat. 7, 1–26.
- Ehrhardt, N.M., Sobreira, C.A., 2003. An assessment of the Brazilian spiny lobster, *P. argus*, fishery. FAO Fish. Rep. 715, 68-74.

- FAO, 2003. Recommendations regarding regional or subregional aspects. Report of the Second Workshop on the Management of Caribbean Spiny Lobster Fisheries in the WECAF Area. FAO Fish. Rep.715, 255-257.
- Francis, R.I.C.C., Shotton, R., 1997. "Risk" in fisheries management: a review. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54, 1699-1715.
- García, C., Chirino, A., Rodríguez, J.P., 1991 a. Corrientes geostróficas en la ZEE al sur de Cuba. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 29-38.
- García, C., Hernández, B., Baisre, J.A., Cruz, R., 1991 b. Factores climáticos en las pesquerías cubanas de langosta (*Panulirus argus*): su relación con las migraciones masivas. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 131-139.
- Gardner, C., Mackinnon, C., Haddon, M., Frusher, S., 2004. Fishery assessment report: Tasmanian rock lobster fishery 2002/03. Tasmanian Aquaculture and Fisheries Institute, University of Tasmania. 89 pp.
- Gavaris, S., 1988. An adaptive framework for the estimation of population size. CAFSAC Res. Doc. 88/129, 1-12.
- Gendron, L., 2005. Impact of minimum legal size increases on egg-per-recruit production, size structure, and ovigerous females in the American lobster (*Homarus americanus*) population off the Magdalen Islands (Quebec, Canada): a case study. New Zeal. Jour. Mar. Freshwater Res. 39, 661-674.
- Gittens, L., Braynen, M.T., 2003. Report on the spiny lobster fisheries of the Bahamas. FAO Fish. Rep. 715, 50-44.
- González, G., Herrera, A., Díaz, E., Brito, R., Gotera, G., Arrinda, C., Ibarzábal, D., 1991. Biología y conducta de la langosta (*Panulirus argus*, Lat.) en las zonas profundas del borde de la plataforma en la región suroccidental de Cuba. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 140-153.
- González, A.A, Puga, R., León M.E. de, Cruz, L., Wolf, M., 2005. Modelo modificado de agotamiento de Delury aplicado al stock de langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804), en la plataforma suroeste de Cuba. Trabajo presentado en el evento PESCA2005. Marzo 2005, La Habana, Cuba.
- González-Cano, J., Ríos-Lara, G.V., Zetina-Moguel, C., Ramírez-Estévez, A., Arceo-Briceño, P., Aguilar-Cardozo, C., Cervera-Cervera, K., Bello-Pineda, J., de Dios-Martínez, J., de Anda-Fuentes, D., Coba-Ríos, M.T., 2001. Langosta espinosa del Caribe. En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. Instituto Nacional de la Pesca. SEMARNAP, México, 633-654.

- Gulland, J.A., Boerema, L.K. 1973. Scientific advice on catch levels. *Fish. Bull.* 71, 325–335.
- Haddon, M., 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC. 406 pp.
- Hannesson, R., 1993. *Bioeconomic Analysis of Fisheries*. FAO, Fishing News Books, Hartnolls Ltd., Cornwall, Great Britain. 138 pp.
- Hannesson, R., 2001. The role of economic tools in redefining fisheries management. In: Pitcher, T.J., Hart, P.J.B., Pauly, D. (Eds.), *Reinventing Fisheries Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 251–260.
- Hernández, B., Piñeiro, R., 2003. Hundimiento de las aguas al sur de Cuba. *Invest. Mar., Valparaíso* 31(1), 33-49.
- Hernández, B., Puga, R., Piñeiro, R., Peñate, A., Alfonso, I., Baisre, J., 1995. Transport, turbulence and hypothetical ocean-shelf coupling mechanism in Punta del Este, Southwestern, Cuba. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 19 (1), 67-72.
- Herrera, A., Ibarzábal, D., 1995. Aspectos ecológicos de la langosta *Panulirus argus* en los arrecifes del SW de Cuba. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 19 (1), 59-63.
- Herrera, A., Ibarzábal, D., Foyo, J., Espinosa, J., Brito, R., González, G., Díaz, E., Gotera, G., Arrinda, C., 1991. Alimentación natural de la langosta *Panulirus argus* en la región de los Indios (Plataforma SW de Cuba) y su relación con el bentos. *Rev. Inv. Mar.* 12(1-3), 172-182.
- Herrkind, W.F., Kanciruk, J., 1978. Mass migration of spiny lobster, *Panulirus argus*, (Crustacea: Palinuridae): Synopsys and Orientation. In: Schmidt, S.K., Keeton, W.T. (Eds.), *Animal migration, navigation and homing*. New York, pp. 430-439.
- Hillborn, R., Walters, C.J., 1992. *Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty*. Chapman and Hall, Inc., London, New York. 570 pp.
- Hobday, D., Punt, A.E., 2001. Size-structured population modeling and risk assessment of the Victorian southern rock lobster, *Jasus edwardsii* fishery. *Mar. Freshwater Res.* 52, 1495–1508.
- Holt, S.J., 1998. Points of view. Fifty years on. *Rev. Fish Biol. Fish.* 8, 357–366.
- Holthius, L. B., 1991. FAO species catalogue. Vol. 13: Marine lobsters of the world: an annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries known to date. FAO Fish. Synop. 125. 292 pp.
- Hoydal, K., Rorving, C.J., Sparre, P., 1982. Estimation of effective mesh sizes and their utilization in assessment. *Dana*, 2, 69-95.

- Ittekkot, V., Humborg, C., Schäfer, P., 2000. Hydrological alterations and marine biogeochemistry: a silicate issue? *BioScience* 50 (9), 776–782.
- Jickells, T.D., 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science* 281, 217–222.
- Jones, R., 1984. Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis). *FAO Fish. Tech. Pap.* 256. 118 pp.
- Krouse, J.S., 1989. Performance and selectivity of trap fisheries for crustaceans. In: Caddy, J.F. (Ed.), *Marine Invertebrate Fisheries: their Assessment and Management*, Wiley and Sons, New York. pp. 307-325.
- Lassen, H., Medley, P., 2000. Virtual population analysis - a practical manual for stock assessment. *FAO Fish. Tech. Pap.* 400. 129 pp.
- Legault, C.M., Powers, J.E., Restrepo, V.E., 2002. Mixed Monte Carlo/bootstrap approach to assessing king and Spanish mackerel in the Atlantic and Gulf of Mexico: its evolution and impact. In: Berkson, J.M., Kline, L.L., Orth, D.J. (Eds.), *Incorporating Uncertainty into Fisheries Models*. American Fisheries Society Symposium 27, pp. 37–44.
- León, M.E. de, Cruz, R., Díaz, E., Brito, R., Puga R., Castillo, J. del, 1991 a. Distribución y estacionalidad de juveniles de *Panulirus argus* en la plataforma cubana. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3), 117-124.
- León, M.E. de, Cruz, R., Puga, R., 1995. Actualización de la edad y el crecimiento de la langosta espinosa *Panulirus argus*. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 19(2), 3-8.
- León, M.E. de, Puga, R., Cruz, R., 1991 b. Panorama de la pesquería de langosta en Cuba durante 1989. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 16(3-4), 21-29.
- León, M.E. de, Puga, R., Cruz, R., 1997. Situación de la estructura poblacional de la langosta (*Panulirus argus*) en la década del 90 en aguas cubanas. Trabajo presentado en III Taller Binacional México-Cuba sobre Pesquerías de Langosta. Octubre 1997, Mazatlán, México.
- Lindeman, K.C., Lee, T. N., Wilson, W.D., Claro, R., Ault, J.S., 2001. Transport of larvae originating in southwest Cuba and the Dry Tortugas: evidence for partial retention in grunts and snappers. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 52, 732-747.
- Lipcius, R.N., 1985. Size-dependent reproduction and molting in spiny lobsters and other long-lived decapods. In: Wenner, A. (Eds.), *Crustacean Issues*. Vol. 3. Factors in adult growth. Balkema:Rotterdam, pp. 129-148.

- MacCall, A.D., 1986. Virtual Population Analysis (VPA) equations for nonhomogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, 2406-2409.
- Mace, P.M., 2001. A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management. *Fish and Fisheries*. 2, 2-32.
- Mace, P.M., Sissenwine, M.P., 1993. How much spawning per recruit is enough? In: Smith, S. J., Hunt, J.J., Rivard, D. (Eds.), *Risk Management Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*. *Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci.* 120, pp. 101-118.
- Mace, P.M., Sissenwine, M.P., 2002. Coping with uncertainty: evolution of the relationship between science and management. In: Berkson, J.M., Kline, L.L., Orth, D.J. (Eds.), *Incorporating Uncertainty into Fisheries Models*. *American Fisheries Society Symposium* 27, pp. 9-28.
- Manly, B.F.J., 1991. *Randomization and Monte Carlo methods in biology*. Chapman and Hall, Inc., London, New York. 282 pp.
- Martins, S.M., de Paula, A.C., Sobreira, C.A., 2003. Report on the spiny lobster fisheries in Brazil. *FAO Fish. Rep.* 715, 61-69.
- Medley, P.A.H., Ninnes, C.H., 1997. A recruitment index and population model for spiny lobster (*Panulirus argus*) using catch and effort data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 1414-1421.
- Miller, R.J., 1990. Effectiveness of crab and lobster traps. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47(6), 1228-1251.
- Morgan, G.R., 1979. Trap response and the measurement of effort in the fishery for the western rock lobster. *Rapp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 175, 197-203.
- Morgan, G.R., Phillips, B.F., Joll L.M., 1982. Stock and recruitment relationships in *Panulirus cygnus* the commercial rock (spiny) lobster of Western Australia. *Fish. Bull.* 80(3), 475-486.
- Muller, R.G., Hunt, J.H., Matthews, T.R., Sharp, W.C., 1997. Evaluation of effort reduction in the Florida Keys spiny lobster, *Panulirus argus*, fishery using and age-structured population analysis. *Mar. Freshwater Res.* 48, 1131-1136.
- Muller, R.G., Sharp, W.C., Matthews, T.R., Bertelsen, R., Hunt, J.H., 2000. The 2000 update of the stock assessment for spiny lobster, *Panulirus argus*, in the Florida Keys. <http://www.floridamarine.org/publications/>

- Páez, J., Revilla, N., 1991. Relación entre la captura por unidad de área de la langosta (*Panulirus argus*) y los diferentes biotopos en el Golfo de Batabanó, Cuba. Rev. Invest. Mar. 12(1-3), 269-279.
- Paretas, J.J., Herrera, J., 1999. Nueva visión para los recursos hidráulicos en Cuba. Documento presentado en VI Jornada del Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional. Mayo 1999, Santiago de Chile, Chile.
- Pauly, D., 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. Jour. CIEM 39(3), 175-192.
- Pérez, I., Garcés, J., Abarca, R., Wolfgang, S., 2005. Respuesta de la capa superficial del mar al paso del huracán Iván por Cuba en septiembre 2004, utilizando el modelo Mercator de Francia. Trabajo presentado en el evento PESCA2005. Marzo 2005, La Habana, Cuba.
- Piñeiro, R., 2004. Bases para el manejo integrado del recurso langosta (*Panulirus argus*) en la zona costera sur de Pinar del Río. Tesis presentada en opción al grado académico de Maestro en Ciencias en Manejo Integrado de Zonas Costeras. Centro de Investigaciones Pesqueras, Cuba. 65 pp.
- Polovina, J.J., Haight, W.R., Moffitt, R.B., Parrish, F.A., 1995. The role of benthic habitat, oceanography, and fishing on the population dynamics of the spiny lobster, *Panulirus marginatus* (Decapoda, Palinuridae), in the Hawaiian Archipelago. Crustaceana 68(2), 203-212.
- Prochaska, F.J., Landrum, P.D., 1981. Spiny lobster, stone crab and secondary fishery costs and revenues in the Florida Keys, 1978-79 Season. Florida Sea Grant Report 42. 50 pp.
- Puga, R., 1996. Analisis bioeconómico de la pesquería de la langosta *Panulirus argus* en el Golfo de Batabanó, Cuba. Tesis presentada en opción al grado académico de Maestro en Ciencias en Biología Marina. Centro de Investigaciones Pesqueras, Cuba. 46 pp.
- Puga, R., Hernández-Vázquez, S., López-Martínez, J., León, M.E. de, 2005. Bioeconomic modelling and risk assessment of the Cuban fishery for spiny lobster *Panulirus argus*. Fish. Res. 75(1-3), 149-163.
- Puga, R., León, M.E. de, 2003 a. Report of the scientific meeting of the second workshop on the management of the lobster fisheries in the WECAF area. In: Report of the Second Workshop on the Management of Caribbean Spiny Lobster Fisheries in the WECAF Area. FAO Fish. Rep.715, 197-200.
- Puga, R., León, M.E. de, 2003 b. La pesquería de la langosta en Cuba. In: Report of the Second Workshop on the Management of Caribbean Spiny Lobster Fisheries in the WECAF Area. FAO Fish. Rep.715, 85-91.

- Puga, R., León, M.E. de, Cruz, R., 1991. Evaluación de la Pesquería de langosta espinosa *Panulirus argus* en Cuba. Rev. Invest. Mar.12 (1-3), 286-294.
- Puga, R., León, M.E. de, Cruz, R., 1992. Evolución de la pesquería de langosta en Cuba hasta 1990. Rev. Cub. Inv. Pesq. 17(2), 50-55.
- Puga, R., León, M.E. de, Cruz, R., 1993. Estacionalidad de la mortalidad por pesca asociada con las técnicas de captura de langosta en el Golfo de Batabanó, Cuba. En: González, J., Cruz, R. (Eds.), Memorias del Taller Binacional México-Cuba. La utilización de refugios artificiales en las pesquerías de langosta: sus implicaciones en la dinámica y manejo del recurso. Mayo 17-21, Isla Mujeres, Q. Roo, México. SEPESCA-Instituto Nacional de la Pesca, México. pp. 38-46.
- Puga, R., León, M.E. de, Cruz, R., 1995. Estado de explotación y estructura poblacional de la langosta espinosa *Panulirus argus* en Cuba. Rev. Cub. Invest. Pesq. 19(2), 41-49.
- Puga, R., León, M.E. de, Cruz, R., 1996. Catchability of the main fishing methods in the Cuban fishery of the spiny lobster *Panulirus argus*, Latreille, 1804, and implications for management (Decapoda, Palinuridae). Crustaceana 69(4), 703-718.
- Puga, R., León, M.E. de, González-Yáñez, A.A., Baisre, J.A., 2003. Aplicación de un modelo dinámico de biomasa en la evaluación bioeconómica de la pesquería de langosta en Cuba. Rev. Cub. Invest. Pesq. 23(1), 35-43.
- Punt, A.E., Smith, D.C., Thomson, R.B., Haddon, M., He, X., Lyle, J.M., 2001. Stock assessment of the blue grenadier *Macruronus novaezelandiae* resource off south-eastern Australia. Mar. Freshwater Res. 52(4), 701-717.
- Ramírez, A., Hernández, A., Aguilar, C., Coba, M.T., 2005. Aplicación de un modelo de capturas por edades (CAGEAN) para evaluar la población pescable de langosta (*Panulirus argus*) en los caladeros de Isla Mujeres, Quintana Roó, México. Trabajo presentado en XI Foro Científico y Taller sobre Investigación, Evaluación y Manejo de Langostas Espinosas. Julio 2005, La Paz, B.C.S., México.
- Reish, R.L., Deriso, R.B., Ruppert, D., Carroll, R.J., 1985. An investigation of the population dynamics of Atlantic menhaden (*Brevoortia tyrannus*). Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 42, 147-157.
- Restrepo, V., Hoening, J.M., Powers, J.E., Baird, J.W., Turner, S.C., 1992. A simple simulation approach to risk and cost analysis, with applications to swordfish and cod fisheries. Fish. Bull. (US) 90, 736-748.
- Ricker, W.E., 1954. Stock and recruitment. Jour. Fish. Res. Bd. Can.11, 559-623.

- Ríos, G.V., Monroy, C., 2005. Evaluación de la población de langosta *Panulirus argus* en la costa de Yucatán. Trabajo presentado en XI Foro Científico y Taller sobre Investigación, Evaluación y Manejo de Langostas Espinosas. Julio 2005, La Paz, B.C.S., México.
- Roberts, C.M., 1997. Connectivity and management of Caribbean coral reefs. *Science* 278(5342), 1454-1560.
- Rose, K.A., Cowan Jr., J.H., Winemiller, K.O., Myers, R.A., Hilborn, R., 2001. Compensatory dependence in fish populations: importance, controversy, understanding and prognosis. *Fish Fish.* 2, 293-327.
- Sanders, M.J., 1995. Introduction to Thompson and Bell yield analysis using Excel spreadsheets. *FAO Fish. Circ.* 895. 21 pp.
- Seijo, J.C., Caddy, J.F., 2000. Uncertainty in bio-economic reference points and indicators of marine fisheries. *Mar. Freshwater Res.* 51, 477-483.
- Seijo, J.C., Defeo, O., Salas, S., 1998. Fisheries bioeconomics. Theory, modelling and management. *FAO Fish. Tech. Pap.* 368, 1-108.
- Seijo, J.C., Pérez, E., Puga, R., Almeida R.C. de., 2001. Bioeconomics. In: Report on the FAO/DANIDA/CFRAMP/WECAFC Regional Workshop on the Assessment of the Caribbean Spiny Lobster (*Panulirus argus*). *FAO Fish. Rep.* 619, 115-135.
- Seijo, J.C., Salas, S., Arceo, P., Fuentes, D., 1991. Análisis bioeconómico de métodos alternativos de captura de langosta (*Panulirus argus*) de la plataforma continental de Yucatán. *Rev. Invest. Mar.* 12 (1-3), 300-308.
- Schaefer, M.B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fishes. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1, 25-56.
- Schnute, J., 1985. A general theory for analysis of catch and effort data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 414-429.
- Shepherd, G.R., 2002. Incorporating uncertainty into stock assessments: a case study of Atlantic striped bass. In: Berkson, J.M., Kline, L.L., Orth, D.J. (Eds.), *Incorporating Uncertainty into Fisheries Models. American Fisheries Society Symposium* 27, pp. 45-62.
- Shepherd, J.G., 1982. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of sustainable yield curves. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 40, 67-75.
- Simpfendorfer, C.A., Donohue, K., Hall, N.G., 2000. Stock assessment and risk analysis for the whiskery shark (*Furgaleus macki* (Whitley)) in south-western Australia. *Fish. Res.* 47, 1-17.

- Sparre, P., Venema, S.C., 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Fish. Tech. Pap. 306.2. 440 pp.
- Sparre, P., Willman, R., 1993. Software for bio economic analysis of fisheries. BEAM 4. Analytical bio economic simulation of space structured multi species and multi fleet fisheries. Volume 1: Description of model. Volume 2: User's manual. FAO Comput. Inf. Ser. (Fish.) 3(1). 186 pp.
- StatSoft, Inc., 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.
- Thompson, W.F., Bell, F.H., 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery. 2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut) Comm. (8). 49 pp.
- Troadee, J.P., 1976. La pesca y la evaluación de los recursos. FAO Fish. Circ. 701, 3-12.
- Walter, J., Larking, S.L., Ehrhardt, N.M., 1999. Bioeconomic models of the Florida commercial spiny lobster fishery. Sea Grant Report 117. 99 pp.
- Whale, R.A., 2003. Revealing stock-recruitment relationships in lobster and crabs: is experimental ecology the key? Fish. Res. 65, 3-32.
- Yeung, C., Jones, D.L., Criales, M.M., Jackson, T.L., Richards, W.J., 2001. Influence of costal eddies and counter-currents on the influx of spiny lobster, *Panulirus argus*, postlarvae into Florida Bay. Mar. Freshwater Res. 52, 1217-1232.