

Modelo Estructurado por Edades para la Evaluación de la Población de Langosta *P. argus* en la Plataforma de Yucatán, México

GLORIA VERÓNICA RÍOS-LARA^{1,2}, y SILVIA SALAS²

¹Centro Regional de Investigación Pesquera Yucalpetén. INDEPESCA. SAGARPA. Apartado Postal 73, Progreso Yucatán. México. C. P. 97320

²Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados. Unidad Mérida. Instituto Politécnico Nacional. Km 6 antigua carretera a Progreso. Apartado Postal 73, Cordemex, Mérida, Yucatán. C. P. 97310 Mexico

RESUMEN

Se construyó un modelo estructurado por edades para evaluar la población de langosta *P. argus* de la plataforma de Yucatán. Se utilizaron series de captura, captura por unidad de esfuerzo y peso medio de los individuos; para la parametrización del modelo se usan estimaciones de mortalidad natural y parámetros de crecimiento de otras pesquerías. Se estima el tamaño de la población y la tasa de explotación y se analiza su dinámica ante diferentes escenarios de manejo. Los resultados indican un incremento de la tasa de explotación en los últimos años y una tendencia de la biomasa a la baja. Como resultados de la exploración de diferentes escenarios de manejo, se obtuvieron predicciones para la biomasa, la cual presenta una caída para el año 2006 en todos los escenarios experimentados, siendo más pronunciada bajo el escenario de explotación actual y presentándose una recuperación en los siguientes años. Los factores determinantes de los mayores incrementos de biomasa, fueron: a) respeto estricto a la talla mínima; b) aumento en el período de veda y c) disminución del período de uso de trampas. Las diferencias en las predicciones hacia el año 2012 indican beneficios para el tamaño de la población a muy bajo costo económico para la pesquería de adoptar el mejor escenario, ya que las capturas a obtener después de tomar dichas medidas, serían muy cercanas a las que se tienen actualmente.

PALABRAS CLAVES: Langosta *P. argus*, plataforma de Yucatán, evaluación del recurso, manejo

Age-Structured Model for Lobster *P. argus* Stock Assessment in Yucatan Shelf

An age-structured model was built to assess the lobster population, *P. argus* of the Yucatan Shelf. Catch, catch per unit of effort and individual mean weight series were used; natural mortality estimates and growth parameters of other fisheries were utilized for the parameterization of the model. Population size and exploitation rate for each fishing season were estimated and their dynamics given different management scenarios was analyzed. Results indicated an increment in exploitation rate, starting from year 2000 with a decreasing trend on the biomass, which coincides with the entry of traps into this fishery, which have a high impact on mega-spawners. As a result of exploration of different management scenarios, biomass predictions were obtained, which shows a declining trend by the year 2006 in all the scenarios simulated, being more evident under the current level of exploitation, showing a level of recovery afterwards. The determinant factors that would favor biomass increase include: a) compliance with legal size; b) increase of the period of the closed season, and c) time reduction on the use of traps. Predictions by the year 2012 suggest benefits on the population size at low economic cost for the fishery if the best management scenario modeled was applied, since catches that would be obtained would be close to current context.

KEY WORDS: Lobster *P. argus*, Yucatan Shelf, stock assessment, management

Modele Structure par L'age pour L'évaluation de la Population de Langouste *P. argus* du Plateau Continental du Yucatan

Un modèle structuré par l'âge a été élaboré pour la population de langouste *Panulirus argus* du plateau continental du Yucatan. Les données de prises, prises par unité d'effort et poids moyens individuels ont été utilisées ainsi que les paramètres de mortalité naturelle et de croissance d'autres pêcheries. Pour chaque saison de pêche, la taille de la population et le taux d'exploitation ont été estimés ainsi que leur dynamique en fonction de différents scénarios. Les résultats indiquent une augmentation du taux d'exploitation et une érosion de la biomasse ces dernières années. Les expériences menées sous différents scénarios indiquent que les bénéfices optimaux en termes de biomasse s'obtiendraient en respectant les tailles minimales autorisées, en étendant l'interdiction de pêche de quatre à cinq mois et en diminuant l'utilisation des engins de capture.

MOTS CLÉS: Langouste, *Panulirus argus*, évaluation des ressources, plate-forme du Yucatan

INTRODUCCIÓN

La pesquería de langosta es una actividad económica de gran importancia para las comunidades pesquera de las costas del Estado de Yucatán, en cada temporada de pesca se capturan alrededor de 180 toneladas de colas que significan aproximadamente unos 6 millones de dólares. Durante muchos años la pesca de langosta se hizo exclusi-

vamente mediante el buceo utilizando un gancho, los métodos de localización de los sitios de pesca eran imprecisos y se basaban en mediciones de tiempo de navegación, rutas seguidas con el compás, así como triangulación con señales situadas en la costa y mediciones de profundidad. En la actualidad la pesca de langosta se realiza por medio del buceo pero también se usan trampas,

así como refugios artificiales y en todos los casos la localización de los sitios de pesca se hace, casi en su totalidad, mediante el uso de geoposicionadores (GPS) con una gran exactitud en la localización.

Dados los cambios en la tecnología de captura se modificó de manera importante la forma de la interacción entre las unidades de esfuerzo pesquero y la población de langosta y es fundamental basar las decisiones de manejo en la mejor información sobre el tamaño de la población, su capacidad de renovación y el estado de aprovechamiento al que ha estado sometida en los últimos años (Munro 1974, Hilborn *et al.* 1995). Con base en estudios previos se puede asumir que la población de langosta en la Plataforma de Yucatán es el mismo stock biológico, no obstante las áreas de pesca son diferentes en tamaño y en características topográficas, lo cual significa, diferencias en la distribución de la biomasa.

Un enfoque basado en métodos de evaluación mediante modelos que consideraran agrupaciones poblacionales dispersas en el espacio se ha considerado apropiado para evaluaciones poblaciones de langosta, sin embargo la obtención de elementos críticos para la evaluación en este contexto (tiempos de colonización o recolonización de las unidades de hábitat naturales, aspectos de migración y extinción, etc), es tanto biológica como física y económicamente complicada. Si bien en esta zona se cuenta con estimaciones de tiempos de colonización o recolonización en el ámbito del uso de refugios artificiales (Ríos *et al.* 1995, Arce *et al.* 1997, Sosa *et al.* 1998), y de una manera gruesa también se tienen aproximaciones del área de Alacranes (Ríos *et al.* 2007), esta información resulta limitada para llevar a cabo una evaluación, a través de estos modelos en toda la zona.

Bajo este contexto y tomando en cuenta que las evaluaciones realizadas en los últimos años utilizando modelos convencionales han mostrado su utilidad para el manejo, se optó por utilizar un modelo estructurado por edades, que recoge el conocimiento sobre la biología y comportamiento de la población y sobre la historia de la pesquería. La importancia de poder evaluar un stock está en la capacidad de analizar las consecuencias de diferentes acciones de manejo y poder obtener hipótesis acerca de la dinámica y el estado de la pesquería en el contexto local (Punt y Hilborn 1996). El objetivo de este trabajo fue construir un modelo para la población de langosta *P. argus* de la plataforma de Yucatán que permitiera analizar su dinámica ante diferentes estrategias de manejo.

MÉTODO

Fuentes de Información

La información sobre la población de langosta y sobre la pesquería utilizada en la construcción del modelo de evaluación se obtuvo de varias fuentes: muestreos de la captura comercial, estadísticas pesqueras, reportes de

investigación y de artículos publicados (Zetina y Ríos 1998, González- Cano *et al.* 2000, Salas *et al.* 2005, Ríos y Monroy 2007). Los muestreos se hicieron mensualmente, bajo un diseño de muestreo estratificado por zonas de pesca (oriente, centro, poniente y Alacranes), con dos etapas dentro de cada estrato (puerto, embarcaciones) (Thompson 1992, Sparre y Venema 1995). Durante los muestreos se obtuvieron peso (g) y talla (cm) de los organismos capturados y la captura por embarcación por viaje de pesca: se estimaron el peso medio (PM) y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y se obtuvo la estructura de tallas de la población explotada. Las estadísticas de captura se tomaron de reportes de estudios previos, siendo su fuente de origen las estadísticas de captura de la SEPESCA (1976 - 1994), SEMARNAP (1995 - 2000) y la SAGARPA (2001 - 2005). Los resultados presentados en términos de captura, son expresados en kilogramos o toneladas de cola de langosta; para convertir el peso de colas de langosta en langosta entera, el peso de la cola tendría que ser multiplicado por un factor tres.

Se utilizó un modelo estructurado por edades (MEE); este tipo de modelos son una opción usada con frecuencia en la evaluación de stocks, particularmente porque pueden hacer uso de datos relativamente simples, generalmente disponibles para algunas pesquerías. Pueden utilizar datos de otras pesquerías y recoger el conocimiento sobre la biología de la especie que se va a evaluar (Hilborn and Walters 1992), lo que además permite probar diferentes escenarios de manejo de la pesquería.

Las entradas para este tipo de modelos incluyen series de tiempo de la capturas, índices de abundancia como la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), peso medio de los individuos (PM), estimaciones de la mortalidad natural (M), parámetros de crecimiento y selectividad en la pesquería. Se asume que la población es cerrada y se parte de una relación stock-reclutamiento conocida. Esto permite estimar el tamaño de la población vulnerable a la pesca y total en biomasa y en número de individuos por edad en el tiempo y las tasas de explotación (U_t) por temporada de pesca (Restrepo 2001).

Modelo

El modelo empleado es dinámico, no-lineal, y estructurado por edades. Se inicia estimando la estructura de la población considerando factores como el reclutamiento, crecimiento individual, mortalidad natural y por pesca, que determina la entrada y salida de los individuos en diferentes cohortes de la población. El número de organismos (N) a cada edad, para cada temporada de pesca está dado por: (1)

$$N_{a+1,t+1} = S_a(1 - V_a * U_t)N_{a,t}$$

Donde a es igual a la edad, t es igual al tiempo en años, S_a es la tasa de sobrevivencia para la edad a ,

es la proporción de individuos de la edad, V_a
 es la proporción de individuos de la edad a vulnerables al arte de pesca y U_t es la tasa de explotación de los animales vulnerables en el año t . (2)

$$U_t = C_t / B_t$$

Aquí C_t es la captura en el tiempo t y la biomasa vulnerable de cada temporada (B_t) se calcula como: (3)

$$B_t = \sum V_a * N_{a,t} * W_a$$

Donde W_a es el peso medio de los organismos de la edad a

El número de organismos por edad en el primer año, estará dado por: (4)

$$N_a = L_a * R_e$$

Donde R_e es el reclutamiento en equilibrio y L_a es la sobrevivencia a la edad a . El reclutamiento en equilibrio se calcula:

$$R_e = B_0 / B_e$$

$$B_0 = \text{Biomasa inicial}$$

y la sobrevivencia a la edad a se calcula por la relación recursiva:

$$L_a = 1 \text{ para la edad } 1$$

$$L_{a+1} = L_a * S_a (1 - V_a * U) \text{ para } a > 1$$

La biomasa en equilibrio B_e se puede expresar en términos de R_e y L_a

$$B_e = \sum V_a * N_a * W_a = R_e \sum V_a * L_a * W_a = R_e \phi V W$$

Donde ϕ es la función incidente obtenida de la suma de los sobrevivientes de cada edad multiplicados por valores como V_a y W_a :

$$\phi V W = \sum V_a * L_a * W_a$$

(biomasa vulnerable por recluta)

$$\phi Y = U \sum V_a * L_a * W_a \text{ (producción por recluta)}$$

$$\phi f = \sum f_a * L_a \text{ (huevos por recluta si } f_a \text{ es igual a la fecundidad por edad)}$$

$$\phi N = \sum V_a * L_a \text{ (número de organismos vulnerables por recluta)}$$

Algunas estimaciones que se pueden hacer de ϕ y de una biomasa vulnerable inicial a ser estimada B_e son:

$$W_{(media)} = \phi V W / \phi N \text{ (peso medio del cuerpo de los animales vulnerables)}$$

$$R_e = B_e / \phi V W \text{ (reclutamiento inicial en equilibrio)}$$

$$C_e = R_e / \phi Y \text{ (captura en equilibrio)}$$

$$H_e = R_e \phi f \text{ (producción de huevos en equilibrio)}$$

El número de nuevos organismos a la población se obtienen determinísticamente de una función stock-reclutamiento del tipo Beverton-Holt, donde la edad uno se considera como los reclutas a la pesquería. Esta función se describe como: (5)

$$R = \frac{a * S}{1 + (b * S)}$$

Donde a y b son parámetros de la relación stock-reclutamiento de la función de Beverton-Holt y S es igual al tamaño del stock desovante o la producción de huevos, obtenido al sumar todas las edades que son maduras.

Se proyectó la población de 1965 a 2005 y se estimó la biomasa inicial $B_{0,1965}$ maximizando la función de verosimilitud:

$$L(B_{0,1965} / \text{datos}) = \left[\Pi (1 / \sqrt{2 * s^2 * \pi}) * e^{-((CPUE_{obs} - CPUE_{est})^2 / (2s^2))} \right]$$

Donde $CPUE_{obs}$ y $CPUE_{est}$ son igual a la captura por unidad de esfuerzo observada y estimada en kg por día de pesca y PM_{obs} y PM_{est} son el peso medio de cola de langosta observado y estimado en kg. S^2 es igual a las varianzas de cada tipo de datos. Las ecuaciones que expresan las funciones de verosimilitud fueron construidas siguiendo basicamente a Hilborn y Walters (1992) y a Punt y Hilborn (1996).

El modelo supone que el crecimiento de las langostas puede ser representado con el modelo de von Bertalanffy (vB). Los valores de los parámetros de la ecuación de vB

$L_t = L_\infty (1 - \exp^{-K(t-t_0)})$, utilizados fueron: L_∞ (LA) = 32 cm, $K = 0.26 \text{ año}^{-1}$ y $t_0 = 0.55 \text{ año}^{-1}$, que son valores promedio de los estimados por diferentes métodos para Cuba y el Caribe mexicano (Cruz *et al.* 1981; Arce, 1991; González-Cano, 1991; Phillips *et al.* 1992). Los parámetros de la relación peso-longitud ($W = aL^b$) se estimaron a partir de información de la zona de estudio y fueron: $a = 0.0825$, $b = 2.7861$.

También se asume una mortalidad natural constante (M), en este caso, se ha encontrado que las estimaciones más confiables de M para el Caribe se encuentran en un rango de entre 0.3 y 0.4 t año⁻¹. Este escenario se ha obtenido utilizando varios métodos en el cálculo del parámetro y ha sido consistente (Pauly 1980, Cruz *et al.* 1981, Medley y Niñez 1997); por lo que se acepta que es muy probable que dentro de este rango se encuentre el valor de M promedio (FAO 2001). En este análisis, se utilizó una M = 0.35 año⁻¹ constante. El modelo supone que la población es vulnerable a la pesca durante ocho meses que dura la temporada de pesca cada año.

Exploración de Escenarios de Manejo Alternativos

Con base en una revisión de la pesquería, de su esquema de manejo actual, de las medidas de regulación y del grado de cumplimiento de la normatividad, se exploraron diferentes escenarios de explotación utilizando el modelo poblacional construido, a fin de mostrar la respuesta de la biomasa a cambios en la forma de explotación y generar elementos posibles para el manejo. Los

experimentos se hicieron para el estado actual de explotación del recurso como línea base y para siete escenarios de manejo alternativos.

El escenario actual (E₁), considera vulnerabilidad de las langostas a la captura desde la edad 1, implicando captura de organismos de talla menor a la mínima (13.5 cm de LA) y captura de hembras ovígeras de todas las edades adultas incluyendo los meses dentro del periodo de captura, en los que la proporción de langostas ovígeras es alta (julio y febrero).

El escenario dos (E₂) la única restricción es el respeto estricto a la talla mínima, todas las langostas que se capturan deberían tener una talla ≥ 13.5 cm de LA; en este caso no hay restricción sobre la captura de hembras ovígeras que se capturan en la zona profunda dentro de la temporada de pesca. Con este escenario se pretende por una parte que los organismos capturados alcancen mayor peso antes de que puedan ser capturados y se obtengan mejores rendimientos y por otra, incrementar la posibilidad de reproducción de los organismos adultos jóvenes.

El escenario tres (E₃) supone que al extenderse los meses de veda se incrementaría el descanso de las zonas de pesca y permitiría mayor recuperación del recurso. Por otra parte permitiría el desove de mayor número de hembras que son capturadas sobre todo el primer y el último mes cada temporada de pesca.

El escenario cuatro (E₄) supone que al disminuirse el tiempo de uso de trampas que impactan de manera importante a la población adulta, se incrementa la protección a la fracción de la población ovígera que aparece en mayor proporción el primer y el último mes de la temporada de pesca. Los escenarios cinco (E₅), seis (E₆) siete (E₇) y ocho (E₈) son combinaciones de los anteriores y representan mayor restricción sobre el recurso.

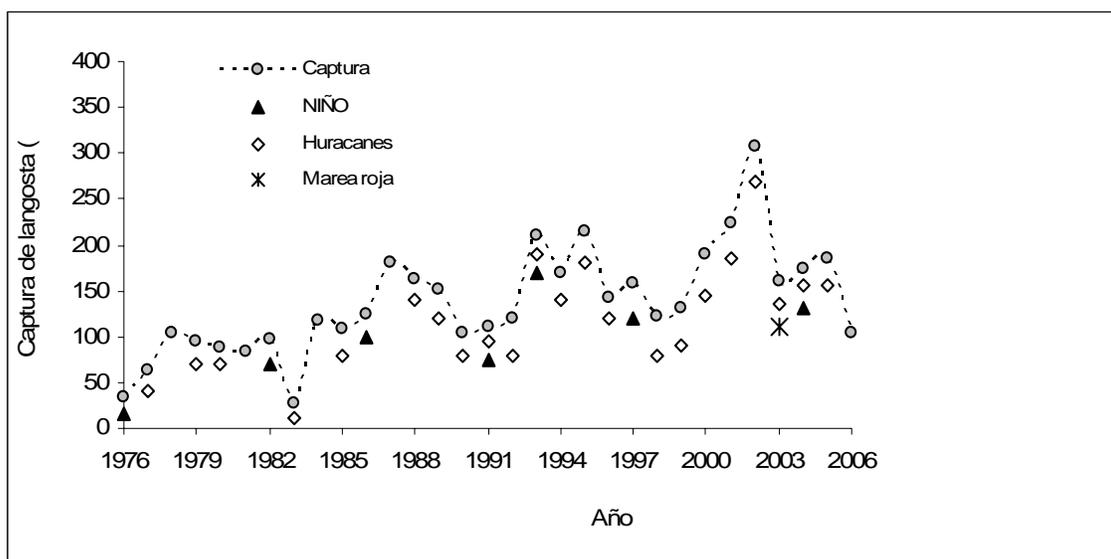


Figura 1. Comportamiento de la captura de langosta (toneladas peso vivo) en la plataforma de Yucatán y eventos meteorológicos ocurridos en los últimos años que impactaron la zona.

Tabla 1. Valor de la captura de langosta en millones de dólares

Año	E1 \$	E2 \$	E3 \$	E4 \$	E5 \$	E6 \$	E7 \$	E8 \$
2005	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
2006	5.6	5.4	5.1	5.3	4.9	5.1	4.9	4.8
2007	5.7	5.7	5.3	5.4	5.3	5.5	5.1	5.2
2008	5.8	6.0	5.5	5.5	5.6	5.7	5.3	5.4
2009	5.8	6.1	5.6	5.6	5.8	5.8	5.4	5.6
2010	5.8	6.2	5.6	5.6	5.9	5.9	5.5	5.7
2011	5.9	6.3	5.7	5.6	6.0	6.0	5.5	5.8
2012	5.9	6.3	5.7	5.6	6.0	6.0	5.5	5.9
Promedio (2006-2012)	5.8	6.0	5.5	5.5	5.6	5.7	5.3	5.5

RESULTADOS

Comportamiento de las Capturas de Langosta *P. argus*

La tendencia de la captura ha experimentado variaciones a lo largo del tiempo, incluso antes de la introducción de trampas a la pesquería. Estos cambios podrían ser explicados por variaciones en el esfuerzo pesquero, pero también por el impacto de factores ambientales como los huracanes, los nortes, el fenómeno del NIÑO y la marea roja sobre el hábitat y sobre la dinámica de la población.

A partir de la temporada de pesca 2000 hubo un incremento sustancial de la captura que coincidió con la entrada de embarcaciones con trampas a nuevas áreas de explotación del recurso. Por otra parte la temporada 2002 fue extraordinariamente productiva alcanzándose la captura más alta en la historia de la pesquería (308 toneladas de cola), lo cual fue coincidente con la producción de algunos de los principales países del Gran Caribe (Bahamas,

Nicaragua, Cuba, Honduras, Belice y República Dominicana), ese mismo año (FAO 2006). Este suceso bien podría estar relacionado con eventos de gran escala ocurridos en aguas del Caribe; este año estuvo presente el huracán Isidoro que tuvo gran Impacto en la región y pudo haber influido en el movimiento del recurso.

A nivel local la época de nortes también tiene impacto sobre las capturas, debido a que los pescadores no pueden salir a pescar. En la temporada 2002 se registraron nortes intensos durante los meses de otoño y principios del invierno afectando principalmente la actividad pesquera de la flota que captura en la costa. Los primeros meses de la temporada hubo buenas capturas sin embargo de octubre a febrero se observó un fuerte descenso.

En la temporada 2003 la producción sufrió una caída de alrededor del 48% con respecto a la temporada anterior. El huracán Isidoro también ocasionó cambios en los hábitats sobre todo en las zonas someras, lo que pudo tener impacto sobre el reclutamiento de juveniles en la

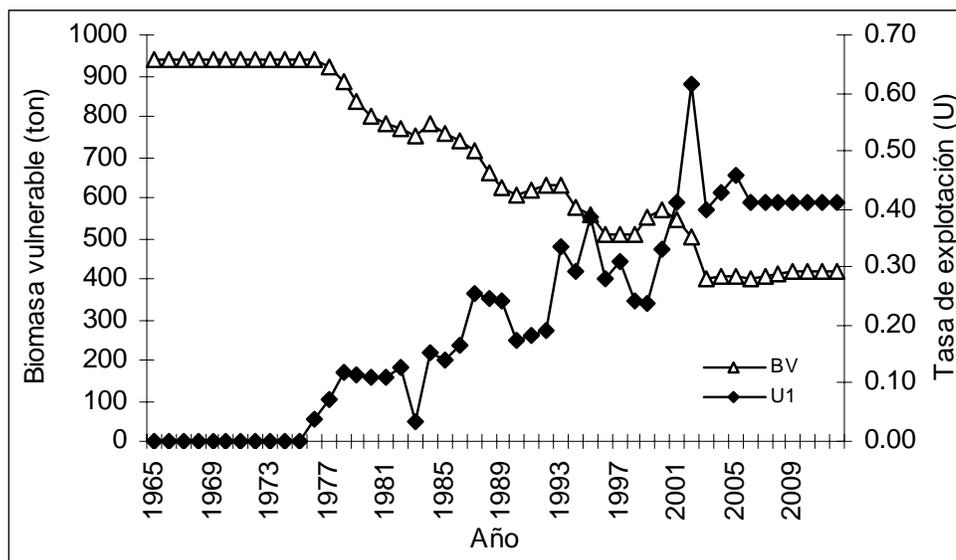


Figura 2. Comportamiento de la biomasa vulnerable (BV) de langosta y la tasa de explotación (U_1) obtenidas del MEE para la Plataforma de Yucatán.

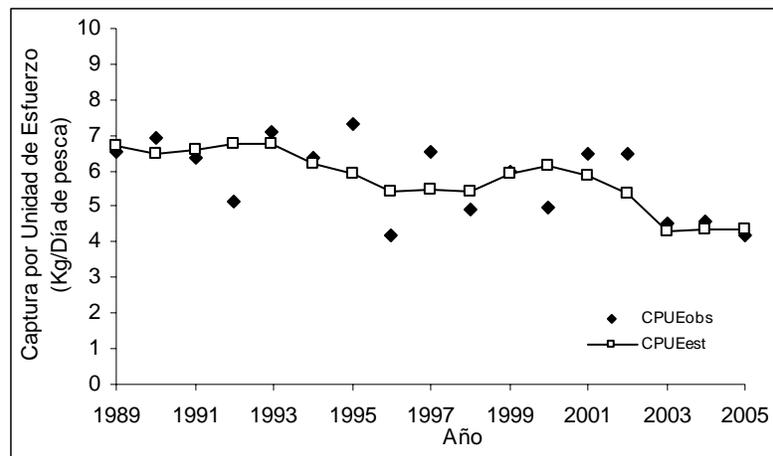


Figura 3. Ajuste del modelo estructurado por edades utilizando la CPUE observada y estimada por el modelo.

zona, afectando la siguiente temporada de pesca (2003). Este mismo suceso ocurrió en 2005 con la presencia del huracán Wilma de gran impacto en el Caribe mexicano y con efectos sobre los movimientos de agua en la Plataforma de Yucatán. En este caso el reclutamiento de langosta a la plataforma proveniente del Caribe pudo verse afectado al grado que la producción en Yucatán bajó en un 43% la temporada 2006. Se ha observado que en todos los años donde han ocurrido huracanes de fuerte impacto para la costa de Yucatán (1988, 1995, 2002 y 2005), hubo aumento en las capturas, seguido de un descenso en todos los casos.

En agosto de 2003 hubo una marea roja muy intensa a lo largo de la costa que ocasionó la muerte de muchos organismos marinos (peces y moluscos principalmente); en el caso de las langostas se ha observado que cuando se presenta este evento se alejan de la franja afectada, moviéndose hacia aguas profundas y quedando fuera del alcance de los pescadores costeros. Este evento también coincide con el descenso en la captura y en este caso éste fue más drástico en la costa (Figura 1).

Estado Actual del Recurso

Los resultados obtenidos a partir del modelo (MEE) indicaron un incremento importante en la tasa de explotación (U), a partir del año 2000 con una tendencia a la caída de la biomasa (BV). En la Figura 2 se observa el comportamiento de ambas variables (BV y U). Los valores más altos para la U fueron para el año 2002 con un valor igual a 0.60 (el más alto en la historia de la pesquería) y para el año 2005 con un valor igual a 0.46.

El ajuste del modelo se hizo utilizando la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y el peso medio de los organismos para cada temporada de pesca (PM), observándose un mejor ajuste para la CPUE (Figura 3).

Se construyó el perfil de verosimilitud para la biomasa virgen (B_0), el cual indica la verosimilitud para una $B_0 = 1$, 852 ton con una desviación estándar de 103 ton (Figura 4).

Este perfil permite observar con que nivel de incertidumbre se está trabajando en este análisis.

Predicciones de Biomasa y Captura

Como resultados de la exploración de los diferentes escenarios de manejo, se obtuvieron predicciones para la biomasa de la población (BP), biomasa vulnerable (BV) y para la captura (C). El incremento en la BP fue mayor bajo los E8 y E5, la biomasa vulnerable (que es la biomasa pescable), presenta una caída para el año 2006, en cada uno de los escenarios experimentales, siendo ésta menos pronunciada bajo el escenario de explotación actual (E1) y presentándose una recuperación en los siguientes años. En términos del incremento de la BV a través del tiempo sería mayor bajo el escenario de explotación E2 (Figura 5).

La biomasa vulnerable y la captura registrarían incrementos y reducciones de acuerdo a las restricciones consideradas en los distintos escenarios. El mayor incremento se obtendría con el escenario E2, alcanzándose un rendimiento de alrededor de 185 toneladas/cola en el año 2012 y la mayor reducción sería bajo el escenario E7.

Las diferencias entre los resultados obtenidos bajo el escenario actual de explotación (E1) y los obtenidos bajo el mejor escenario alternativo de manejo (E2) al año 2012, fueron de 32 ton/cola (96 ton/peso vivo) para la BV y de 13 ton/cola (39 ton/peso vivo), para la captura (Figura 6).

A partir de los valores predichos para la captura, se estimó el valor promedio en dólares, a razón de 34 US\$/kg/cola de langosta. Como se puede observar en la Tabla 3, para el año 2006 el valor se reduce bajo todos los escenarios como un resultado de la declinación de la captura. Por otra parte las mayores ganancias promedio a lo largo del tiempo se obtendrían con el escenario E2 (seis millones de dólares).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general los resultados de modelos basados en la estructura de edades o de tallas, se presentan tendencias aproximadas en la medida que la información incorporada

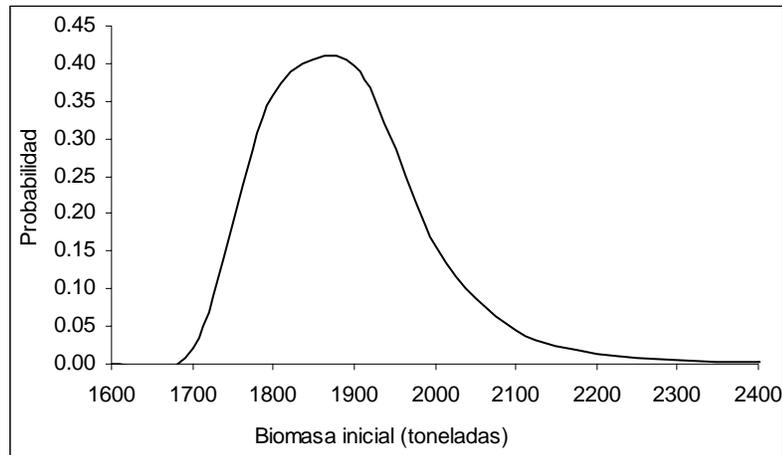


Figura 4. Perfil de verosimilitud para la biomasa virgen (Bo).

es menos precisa. En el modelo aquí presentado se integró información relevante sobre biología de la especie y de la dinámica de la pesquería, por lo que se considera un modelo adecuado para la pesquería a evaluar. Una limitación del modelo, sin embargo es que refiere a la biomasa de la población considerada como un conjunto y sin tomar en cuenta la distribución de la población explotada en las diferentes áreas (Ríos *et al.* 2007) y los patrones de movimiento del recurso.

El resultado obtenido con este modelo, respecto a la probabilidad de que la biomasa inicial fuera de 1,834 t de cola de langosta (dados los datos), es similar al obtenido en otras evaluaciones (Ríos y Monroy 2007). Sin embargo, para el año 2005 la tasa de explotación fue superior a la de otras temporadas de pesca ($U = 0.46$), sobrepasando el punto de referencia límite (PRL), establecido para la Plataforma de Yucatán ($U = 0.40$) (Zetina y Ríos 1998; González Cano *et al.* 2000). Por otra parte la biomasa ha tenido una caída permanente incrementándose también en los últimos años. Estos indicadores del estado del recurso, muestran la necesidad de explorar formas de manejo de la pesquería que la hagan sustentable a largo plazo.

Los resultados derivados de los experimentos de simulación realizados en torno a diferentes esquemas de explotación para la pesquería, indican que los mejores escenarios para obtener un incremento en la BP, serían en orden de ganancia: a) respecto a la talla mínima, modificación a la veda y disminución del uso de trampas (E8) y b) respecto a la talla mínima y modificación a la veda (E5). En ambos casos una reducción de organismos sub-legales sería beneficiosa, de tal forma que la eliminación completa de la captura de organismos menores a la talla mínima (13.5 cm de LA), promovería un incremento en la biomasa al permitir a esos organismos contribuir con biomasa por crecimiento. Esto podría lograrse con un apego estricto a una de las medidas de regulación vigentes para langosta del Caribe (Norma Oficial Mexicana NOM-006-PESC-1993).

La modificación de la veda, acción considerada igualmente en el E8 y E5 permitiría una reducción en el periodo de explotación. En este caso se influye en la ganancia en biomasa de manera distinta en las diferentes zonas de pesca dado el empleo de diferentes métodos de pesca. Por ejemplo en la zona costera, el recurso tendría mayor tiempo de recuperación entre una temporada de pesca y otra, dado que se ha reportado para algunas áreas de la plataforma de Yucatán (Ríos *et al.* 1995, 2007, Bello-Pineda *et al.* 2005) y para Quintana Roo (Sosa *et al.* 1998) que los refugios (artificiales y naturales), son colonizados paulatinamente durante el tiempo de veda, se esperaría entonces que a mayor tiempo de veda mayor densidad de langosta en el área; por otra parte en la zona profunda se incrementaría el tiempo de protección a las hembras ovígeras aumentando el potencial reproductivo de la población (Cruz 2002) y por lo tanto el reclutamiento.

No hay que perder de vista que la tasa de explotación (U) se ha incrementado significativamente los últimos años (2000 - 2005), coincidente con la entrada de trampas a esta pesquería, las cuales tienen principal influencia sobre las langostas más grandes de la población, que son las que tiene mayor potencial reproductivo (Cruz 2002). Por lo tanto, la posibilidad de disminuir el tiempo en que se usan las trampas propuesto en el E8, significaría que de ocho meses que dura la temporada de pesca, los dos meses en los que la proporción de hembras ovígeras es más alta (julio y febrero), no se pescara con trampas. Esto incrementaría aún más el tiempo de protección de las hembras ovígeras aumentando el potencial reproductor de la población.

Las diferencias en las predicciones al 2012 indican beneficios para el tamaño de la población a muy bajo costo económico para la pesquería ya que las capturas que se obtendrían después de tomar las medidas del mejor escenario serían muy cercanas a las que se obtienen actualmente, en este caso sería conveniente cumplir estrictamente con las medidas de manejo actual y se podría mantener una pesquería saludable, con un bajo costo social.

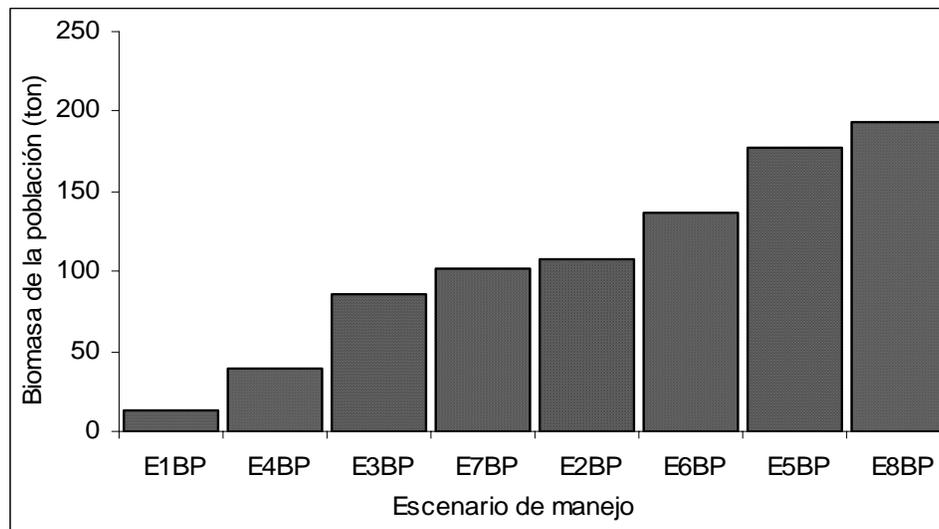


Figura 5. Predicción de la biomasa vulnerable bajo diferentes escenarios de explotación.

En el estudio de poblaciones explotadas la relación entre tamaño de la población y el excedente reproductivo ha estado sujeto a mucha controversia, y aunque ahora se acepta ampliamente que la pesca puede tener gran impacto sobre las poblaciones de peces y crustáceos, el debate sobre la relación entre la abundancia del stock desovante y el excedente reproductivo continua, dependiendo de las especies a considerar. Se menciona que con frecuencia el número de reclutas es efectivamente independiente del tamaño del stock sobre la mayoría de los rangos observados de tamaños de stock (Gulland 1980); por otra parte Myers *et al.* (1994) analizando datos de muchos stocks de peces, menciona que encontró evidencia de que el excedente reproductivo declina cuando el tamaño de la población adulta es reducida. En el caso de las langostas queladas Butler *et al.* (2006) refiere a las profundas implicaciones entre las poblaciones reproductivas que sirven como fuente de postlarvas que contribuirán al reclutamiento de varias áreas (receptores) una vez que las postlarvas lleguen a asentarse.

Phillips (2006) refiere a las langostas como especies altamente fecundas que suministran buenos niveles de crías que se sostienen y que son capaces de soportar altos niveles de captura bajo diversas circunstancias, lo que se manifiesta en diferentes stocks de langosta, donde se han reportado índices de explotación altos (0.71 a 0.83) para *P. argus* en Banco Chinchorro, Quintana Roo (Sosa-Cordero *et al.* 1996), para *P. polyphagus* en Bombay India (Kagwade 1995) y para *P. cygnus* en Australia (Wright *et al.* 2006). No obstante, se plantea que para que las pesquerías de langosta en el Caribe sean sustentables, la conservación de la fecundidad de la población es clave; se cree que aunque exista protección de los reproductores a través de las vedas, en una escala regional, ésta puede ser insuficiente para recuperar la abundancia disminuida del stock desovante (Ehrhardt 2005). El tamaño reproductivo efectivo de una población puede ser mucho más pequeño

que el tamaño de la población total, dado que los grupos de edad reproductiva y los sitios de desove pueden no ser igualmente exitosos en su actividad reproductiva a lo largo del rango de distribución de la especie (Smedbol *et al.* 2003 citados por Seijo y Caddy 2008).

Dada la naturaleza de este tipo de recursos, desde hace algunos años su manejo se ha llevado a cabo a través de estrategias menos convencionales (Orensanz y Jamieson 1998, Caddy 1999). Este paradigma alternativo ha surgido en numerosos casos como consecuencia del propio contexto socioeconómico y de la naturaleza biológica de los recursos explotados (Orensanz *et al.* 2005, Parma *et al.* 2006). Así, han surgido los sistemas de gestión comunitaria en los que son los propios usuarios los que toman las decisiones y controlan la explotación. Al mismo tiempo, son habituales los sistemas de gestión espacial, normalmente aplicados a través de derechos territoriales de uso de los recursos asignados a las comunidades pesqueras, formalmente o de facto. En estos sistemas se puede contar con evaluaciones directas del tamaño del stock, pero sin consideraciones espaciales, sin embargo existen casos donde se aplican sistemas de rotación o de reservas que, junto con la aplicación de cuotas, que han favorecido un manejo sostenible (Freire 2007, Sosa-Cordero *et al.* 2008).

La distribución y abundancia de un recurso como la langosta con un ciclo de vida tan complejo, depende de muchos factores bioecológicos y ambientales (hábitat disponible, predación, denso-dependencia, clima, impacto de fenómenos naturales, etc) y también de la forma en la que se hace uso de ellos. Se puede decir que ante la naturaleza, el hombre no puede intervenir para evitar las fluctuaciones de abundancia, incrementos o desplomes de una población, sin embargo hay una interrelación entre el hombre y el recurso, de la cual si depende su estado de salud y es aquí en donde con voluntad de pescadores, investigadores y manejadores se puede buscar una armonía que permita el aprovechamiento sustentable.

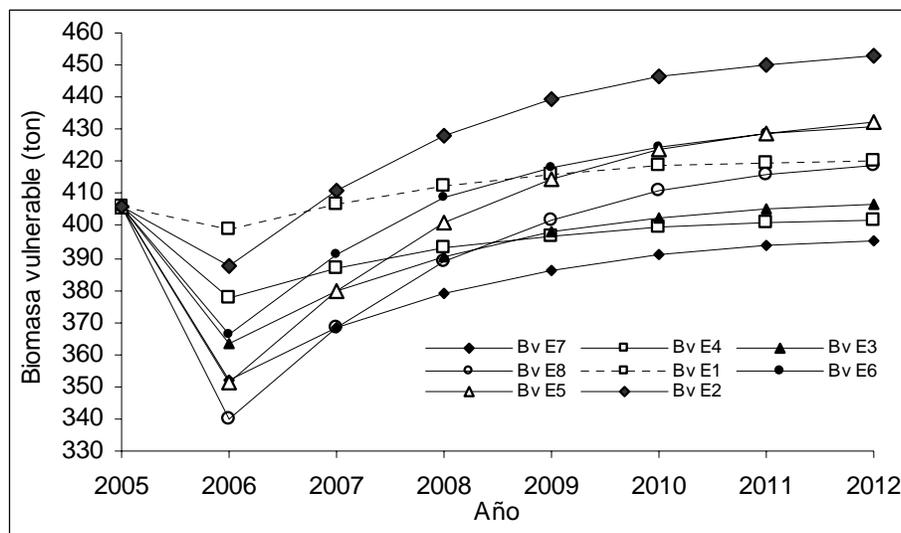


Figura 6. Predicción de la biomasa vulnerable bajo diferentes escenarios de explotación by year.

LITERATURA CITADA

- Arce, A.M. 1991. Estimación del crecimiento de la langosta *Panulirus argus* Latreille mediante funciones de singularidad. *Revista de Investigaciones Marinas* **12**(1-3):184-192.
- Arce, A.M., W. Aguilar-Dávila., E. Sosa-Cordero, and J.F. Caddy. 1997. Artificial shelters (casitas) as habitats for juvenile spiny lobster *Panulirus argus* in the Mexican Caribbean. *Marine Ecology Progress Series*. **158**:217-224.
- Bello-Pineda J., V. Ríos, M.A. Liceaga, C. Zetina, K. Cervera, H.P. Arceo, and H. Hernández. 2005. Incorporating spatial analysis of habitat into spiny lobster (*Panulirus argus*) stock assessment at Alacranes reef, Yucatán, México. *Fisheries Research* **73**:37-47.
- Butler, M. J. IV., R. S. Steneck and W. Herrnkind. 2006. Juvenile and adult ecology. Pages 263-309 in: Phillips, B. (ed.). *Lobsters: Biology, Management, Aquaculture and Fisheries*. Blakwell.
- Caddy, J.F. 1999. Fisheries management in the twenty-first century: will new paradigms apply? *Reviews in Fish Biology* **9**:1-43.
- Cruz, F.L. 2002. *Stock Assessment of the Spiny Lobster (Panulirus argus) in Southeastern Cuban Waters*. Centro de Investigación Pesquera. Ciudad La Habana, Cuba. 51 pp.
- Cruz, R., R. Coyula., and A.T. Ramírez. 1981. Crecimiento y mortalidad de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) en la plataforma suroccidental de Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. **6**:89-119.
- Ehrhardt, N. 2005. Population dynamic characteristics and sustainability mechanisms in key Western Central Atlantic spiny lobster, *Panulirus argus* fisheries. *Bulletin of Marine Science* **76**(2):501-525.
- González-Cano, J. 1991. *Migration and Refuge in the Assessment and Management of the Spiny Lobster Panulirus argus in the Mexican Caribbean*. Ph. D. Dissertation. Imperial College, University of London, London, England.
- González-Cano, J., G.V. Ríos-Lara., C. Zetina-Moguel., A. Ramírez Estévez., P. Arceo Briseño., C. Aguilar-Cardozo., K. Cervera-Cervera., Juan de Dios Martínez., D. De Anda-Fuentes., J. Bello-Pineda y M.T. Cobá-Ríos. 2000. La Pesquería de Langosta en el Caribe. Páginas 631-654 en: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca SEMARNAP (ed.). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México.
- Gulland, J.A. 1980. *Some Problems of the Management of Shared Stocks*. *FAO Fisheries Technical Papers*. 206 pp.
- Hilborn, R, C.J. Walters and D. Ludwing. 1995. Sustainable exploitation of renewable resources. *Annual Review of Ecology and Systematics* **26**:45-67.
- Hilborn, R. and C. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamic and Uncertainty*. Chapman and Hall Inc., New York, USA. 570 pp.
- Kagwade, PV. 1995. Estimates of the stocks of the spiny lobster *Panulirus polyphagus* (Herbst) in the trawling grounds off Bombay. *Journal Marine Biological Association of India* **36**:161-166.
- Medley, P.A.H. and C.H. Niñez. 1997. A recruitment index and population model for spiny lobster (*Panulirus argus*) using catch and effort data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**:1414-1421.
- Munro, J.L. 1974. *The biology, ecology, exploitation and management of Caribbean reef fishes*. University of the West Indies, Zoology Department Research Report **3**:1-57.
- Myers, R.A., A.A. Rosenberg, P.M. Mace, N. Barrowman, and V.R. Restrepo. 1994. In search of thresholds for recruitment overfishing. *ICES Journal of Marine Science* **51**:191-205.
- Orensanz, J.M., A.M. Parma., G. Jerez., N. Barahona., M. Montecinos, and I. Elias. 2005. GAT are the key elements for the sustainability of "S-Fisheries"? Insights from South America. *Bulletin of Marine Science* **76**:527-556.
- Parma, A.M., R. Hilborn, and J.M. Orensanz. 2006. The good, the bad and the ugly: learning from experience to achieve sustainable fisheries. *Bulletin of Marine Science* **78**:411-427.
- Pauly, D. 1980. On the inter-relationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil international Pour l'Exploration de la Mer* **39**(3):175-192.
- Punt A. and R. Hilborn. 1996. Biomass dynamic models. Computerized Information. *Series Fisheries*. FAO, Rome, Italy. 62 pp.
- Restrepo, V. 2001. Age-structured production models. Part III. Stock assessment methods. Report on the FAO/DANIDA/CFRAMP/WECAFC Regional Workshops on the Assessment of the Caribbean Spiny (*Panulirus argus*). *FAO Fisheries Report* **619**: 366-368.
- Ríos, L.G.V., C. Zetina M., y K. Cervera. 1995. Evaluación de "casitas" o refugios artificiales introducidos en la costa oriente del estado de Yucatán para la captura de langostas. *Revista Cubana de Investigaciones Marinas* **19**(2):50-56.

- Ríos, L.G.V. y C. Monroy García. [2007]. Situación actual y exploración de escenarios de manejo para la pesquería de langosta *Panulirus argus* en la costa de Yucatán. M. S. No publicado. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. México. 36 pp.
- Ríos-Lara, G. V., S. Salas., J. Bello-Pineda, and I. Peniche-Ayora. 2007. Distribution patterns of spiny lobster (*Panulirus argus*) at Alacrán Reef, Yucatán: Spatial analysis and inference of preferential habitat. Eval. Managmt. Coast. Fish. Latin Amer. Caribb. Spec. Issue. *Fisheries Research* **87**:35-45.
- Salas, S., J. Bello., V. Ríos., M. A. Cabrera., R. Rivas y A. Santamaría. 2005. Programa Maestro del Sistema-Producto de las pesquerías de langosta en Yucatán. CONAPESCA-SAGARPA-CINVESTAV. Mérida, Yucatán. 127 pp.
- Seijo, J. C. and J.F. Caddy. 2008. Port location for inshore fleets affects the sustainability of coastal source-sink resources: Implications for spatial management of metapopulations. *Fisheries Research* **91**: 336-348.
- Smedbol, R. K., A. McPherson., M. M. Hansen and E. Kenchington. 2003. Myths and moderation in marine metapopulations. *Fish and Fisheries*. **3**:20-35.
- Sosa-Cordero, E., A. M. Arce., W. Aguilar Dávila and A. Ramírez-González. 1998. Artificial shelters for spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille): an evaluation of occupancy in different benthic habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **229**: 1-18
- Sosa-Cordero, E., A. Ramírez-González y M. Domínguez-Viveros. 1996. Evaluación de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México, con base en el análisis de frecuencias de tallas. *Proceedings of Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. **44**:103-120.
- Sosa-Cordero E., M.A.L. Liceaga-Correa, and J.C. Seijo. 2008. The Punta Allen lobster fishery: current status and recent trends. Pages 149-162 in: R. Townsend, R. Shotton, and U. Uchida (Eds.) *Case Studies in Fisheries Self-governance. FAO Fisheries Technical Paper 504*. Rome Italy.
- Sparre, P y S. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. *Parte 1-Manual.FAO*. 306/1-419 pp.
- Thompson, S. K. 1992. *Sampling*. John Wiley and Sons. Inc. USA.
- Wright, I., N. Caputi and J. Penn. 2006. Depletion-based population estimates for western rock lobster (*Panulirus cygnus*) fishery in Western Australia. New Zealand. *Journal Marine Freshwater Research*. **40**: 107-122.
- Zetina-Moguel, C y G. V. Ríos L. 1998 Estimación del tamaño de la población, tasa de explotación y mortalidad por pesca de langosta *Panulirus argus* en las costas de Yucatán a través de diferentes modelos de evaluación. *Proceedings of Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. **50**: 162-175.