

Estrategias óptimas de explotación del pulpo de la Sonda de Campeche, México

Ernesto A. Chávez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR, I.P.N.) Av. Inst. Politécnico s/n, Playa El Conchalito, Apdo. Postal 592 La Paz, B. C. S., Mexico 23070.

Chávez A., E. 1998. Estrategias óptimas de explotación del pulpo de la Sonda de Campeche, México. *Hidrobiológica* 8 (2): 97-105.

RESUMEN

El concepto de rendimiento óptimo es aplicado a un modelo en diferencias finitas con el que se simuló la pesquería de pulpo del sureste del Golfo de México, basado en la estructura por edades de la población, cuyas capturas representan el 8 % de la captura mundial de este recurso (12,000 toneladas capturadas en la Sonda de Campeche en 1989 y 1994, y 15,000 tons en 1991). Los cambios anuales en el tamaño de cada cohorte mensual y en los parámetros de la población (mortalidad por pesca y número de reclutas) fueron analizados a través de un período de 46 años. Se evaluaron las mejores opciones de administración, basadas en los rendimientos potenciales máximos y sobre la razón beneficio/costo, con la consideración explícita del número de pescadores, como variable dependiente de las dos primeras, para recomendar las mejores estrategias de administración. Los rendimientos obtenidos como resultado de las simulaciones, indican la posibilidad de obtener las capturas mas altas, con un valor de la mortalidad por pesca de $F = 0.43$, que es muy cercano al del nivel actual de explotación. Este valor se encuentra por arriba del nivel de equilibrio económico (Beneficio/Costo= 1), por lo que su adopción se considera recomendable como estrategia de pesca, ya que el riesgo de una crisis económica debida a la variabilidad intrínseca en el reclutamiento es improbable. El nivel de equilibrio económico se alcanza con una mortalidad por pesca de $F = 1.29$. Los actuales niveles de esfuerzo permiten obtener capturas cercanas al nivel óptimo que el recurso soporta, por lo que, para asegurar mantener altos rendimientos (mayores que 18,000 toneladas anuales), una actividad económica redituable (Beneficio/Costo= 3.6) y un beneficio social aceptable, es deseable mantener este nivel de acceso al recurso mientras no se amplíen las áreas de pesca en la zona de estudio.

Palabras clave: Pulpo, simulación pesquera, explotación óptima, Sonda de Campeche, México.

ABSTRACT

The concept of maximum sustainable yield is applied to an age structured simulation model based on difference equations, of the octopus fishery, in the south eastern Gulf of Mexico. In 1989 and 1994, catch was 12,000 tones and 15,000 tons in 1991, amounting about 8 % of the world octopus yields. Size of each cohort and population parameter changes (fishing mortality and recruit numbers) were analyzed year by year. Simulations were carried on to examine the variability of yield based upon changes in recruitment throughout a 46-year period. Optimum yield and maximum benefit/cost ratio are evaluated as harvesting options and their consequences in direct employment were assessed to recommend the best management strategy. It was found that the maximum sustainable yield and high economic yields can be achieved simultaneously under the same exploitation strategy if it is adopted as management goal, with a fishing intensity of $F = 0.43$, which may be the most convenient choice because the fishery lays above the economic equilibrium level ($B/C = 1$) and the uncertainty in recruitment that may lead to an economic crisis seems very unlikely. The economic equilibrium level is attained with a fishing mortality of $F = 1.29$. Current levels of exploitation allow yields near the optimum level, and in order to ensure higher yields (higher than 18,000 tons per year), high profits (Benefit/Cost= 3.6) and acceptable social benefits, maintenance of the current level of fishing effort is advised, as long as new fishing grounds are discovered in the study area.

Key words: Octopus, fisheries simulation, optimum harvesting, Campeche Bank, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La pesquería de pulpo de la Sonda de Campeche explota dos especies, en cuya captura *Octopus maya* Voss y Solís, representa mas del 95 %. Es una pesquería costera y de tipo artesanal (Solís-Ramírez y Chávez, 1986). Después de un período de crecimiento eumétrico de la actividad, los rendimientos llegaron a las 15,000 toneladas en 1991. Debido al valor social de esta actividad, se consideró conveniente examinar la dinámica del recurso mediante un modelo de simulación, con el propósito de determinar los mecanismos ecológicos subyacentes y evaluar las opciones de administración mas convenientes. De esta manera, como resultado del estudio se pretende dar respuesta a preguntas tales como: ¿cuál es el tamaño de la población? ¿qué tan intenso es el nivel de explotación? ¿cuál es el nivel de captura óptima? ¿qué tan redituable es como actividad económica? ¿cuál es su impacto social? La respuesta a estas preguntas permitirá determinar las mejores opciones de explotación.

LA PESQUERÍA

El recurso se explota por dos flotas, la flota artesanal opera a menos de 10 m de profundidad y tiene al pulpo como único objetivo (Fig. 1). En la segunda, que opera de 10 a 30 m, el pulpo representa el 70 % de la captura, aproximadamente. La pesca se realiza mediante el uso de las llamadas jimbas, o sean, cerca de 10 líneas atadas a una o dos pértigas por panga que con el bote a la deriva, llevan un cangrejo atado a su extremo que arrastra sobre el fondo y sirve de carnada para los pulpos al pasar cerca de sus madrigueras. La temporada se inicia a principios de agosto y termina a mediados de diciembre. La normatividad aplicada a regular esta actividad está orientada a proteger a los adultos reproductores: la pesca con gancho está prohibida y existe un tamaño legal mínimo. Durante cada temporada de pesca, los pescadores se desplazan de sur a norte en aparente respuesta a los cambios en la intensidad del reclutamiento y a los cambios estacionales en la tasa de crecimiento (Arreguín-Sánchez, 1992). Las actividades de pesca se retrasan si las masas de agua permanecen turbias, lo cual tiene una aparente relación con la aparición estacional de una surgencia (Ruiz-Rentería y Merino-Ibarra, 1989), lo cual se considera como evidencia para explicar la presencia de pulpos adultos de 5 a 7 meses de edad al principio de la temporada de pesca.

Varios estudios han aportado bases para la administración de este recurso, así, Solís-Ramírez y Chávez (1986) evaluaron la población mediante dos métodos, en 4,500 y 7,777 toneladas; también hicieron recomendaciones sobre el nivel de esfuerzo y la talla mínima de captura. Mas

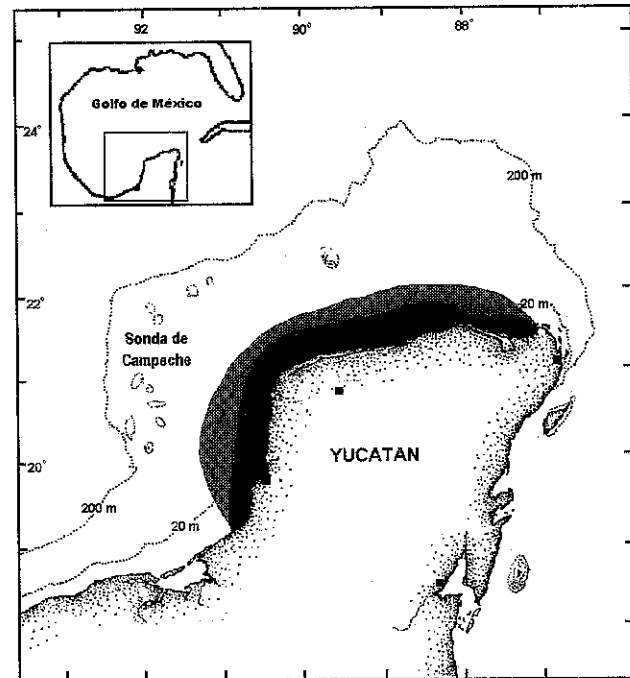


Figura 1. Costas de la península de Yucatán en donde se muestra la distribución de las áreas de pesca del pulpo, en la Sonda de Campeche. La mas cercana a la costa pertenece a la pesquería artesanal que captura *O. maya* como objetivo principal. El área mas lejana corresponde a la zona de captura de la flota mayor, en la que el pulpo no es el objetivo principal.

recientemente, Seijo *et al.*, (1987) y Díaz de León y Seijo (1992) simularon la pesquería con una orientación a determinar el momento mas adecuado para dirigir el esfuerzo de pesca en el transcurso de una misma temporada.

MÉTODOS

Se presenta un modelo basado en ecuaciones en diferencias finitas que describen los cambios en el número de individuos de cada edad a través del tiempo. Es una continuación de los trabajos que en el mismo sentido se han aplicado previamente a otras pesquerías mexicanas (Chávez, 1994; Chávez y Arreguín-Sánchez, 1994, 1995; y Cruz-Romero *et al.*, 1996) y cuyas características generales han sido descritas por Chávez (1996). Los análisis se basan en una reconstrucción de los grupos de edad, a partir de los datos de Solís-Ramírez y Chávez (1986); y de Arreguín-Sánchez (1992) para los años de 1980 y 1983-1988. Se determinó la estructura por edades de la población de 1980 y esto sirvió para hacer el ajuste a los datos de captura de los años de 1949 a 1994. Se consideraron grupos de edad mensuales. Las unidades de tiempo utilizadas para los cálculos del rendimiento fueron anuales; cada generación o

cohorte es anual y se tomó en cuenta solo una por año. La tasa de crecimiento del pulpo es descrita mediante el modelo de von Bertalanffy y fue tomada de Solís-Ramírez y Chávez (op. cit.); este criterio es la base para la estimación de los grupos de edad en cada año de la serie, cuyos valores se muestran en la Tabla 1. El valor de la mortalidad natural asignado es de $M = 0.2628$ (referido a una tasa de cambio mensual), basado en la consideración de que $k = M$ (según Chávez, 1995). La edad de reclutamiento a la pesquería adoptada es de 7 meses y para fines prácticos se consideró constante a través del tiempo. A continuación se reconstruyó la estructura por edades para cada año de la serie y a esta estructura poblacional se le aplicó la ecuación de captura de Baranov (Ricker, 1975), hasta hacer coincidir los valores calculados con los registrados en las estadísticas. Para cada año de la serie histórica de datos de captura, se estimó el tamaño de la población, las tasas de explotación y los valores del coeficiente de mortalidad por pesca (F); estos últimos fueron determinados mediante la rutina "solve for" de la hoja de cálculo, en la que el modelo fue desarrollado. Con el valor de F estimado para los años de 1980 y 1981, cuando se determinó el valor del esfuerzo (f), fue posible hacer una estimación del coeficiente de capturabilidad q, según $F = qf$ (Ricker, op. cit.; Pauly, 1980). Los valores de f a través de la serie con datos de la captura se estimaron para cada año al despejar esta variable de la ecuación antes citada. Los datos sobre los costos de las operaciones de pesca y el valor de la captura o beneficios, se tomaron del trabajo de Solís-Ramírez y Chávez (1986) y se aplicaron a la serie histórica bajo el criterio de valor constante. Se consideró que los grupos de edad reproductiva son los de diez a doce meses. A continuación se aplicó el modelo de reclutamiento de Ricker ($R = \alpha A \exp^{-\beta A}$) para determinar la relación parentela-progenie y establecer la relación entre generaciones sucesivas para poder simular los cambios en el tamaño de la población a través del tiempo, donde el parámetro (α) representa la mortalidad independiente de la densidad y β la mortalidad dependiente

de la densidad de población; R los reclutas, es el número medio de animales de un mes de edad que se incorporan a la población como resultado de la reproducción del año anterior. El número de reclutas de un mes de edad estimado por simulación para cada año mediante el modelo de reclutamiento, fue multiplicado por una variable aleatoria con distribución normal, con coeficiente de variación de 0.15.

Al determinar el número de reclutas que cada cohorte de reproductores genera, se aplicó una serie de experimentos de manejo bajo distintas opciones de administración de la pesquería. Esto permitió probar la respuesta de la población e identificar los niveles de esfuerzo necesarios para obtener los rendimientos mas altos en biomasa, los valores óptimos de la relación Beneficio/Costo (B/C) y las consecuencias sociales, que se expresan como número de empleos directos, derivadas de cada estrategia de manejo. El proceso de validación del modelo se llevó a cabo mediante una comparación y ajuste sucesivo entre los números de cada grupo de edad en la población calculados originalmente y los de la población simulada a través de la serie de 46 años de datos de captura.

Las simulaciones para determinar las estrategias de manejo se hicieron después de dar validez al modelo a lo largo de la serie histórica de datos.

RESULTADOS

Datos históricos.

Los valores de la biomasa de cada cohorte reconstruída estimados a través del tiempo, se indican en la Tabla 2; de su examen se pone en evidencia el hecho de que en el transcurso de los años nuevas áreas de explotación han sido abiertas a la pesquería. Los niveles mas bajos en el número de reclutas y de adultos son de 20 y de 4 millones de individuos respectivamente, observados durante los primeros años de la actividad, cuando la captura anual era cercana a las 100 toneladas. En 1965 y luego en 1974, ocurrieron dos períodos de incremento brusco, pescándose volúmenes cercanos a 6,000 toneladas; posteriormente la captura se incrementó gradualmente pero con dos saltos, llegando a niveles cercanos a las 9,000 toneladas al principio de los años 90 y con tendencia a seguir en aumento en el transcurso de los últimos años.

Los valores de los parámetros del modelo de reclutamiento de Ricker determinados por regresión, son $\alpha = 2,750$ y $\beta = 180,000$; A es el número de adultos cada año y R es el número de individuos o reclutas de un mes de edad. La reconstrucción de los grupos de edad durante los

Tabla 1. Parámetros de la población de pulpo usados en la simulación. k, to, L y W son del modelo decrecimiento de von Bertalanffy. M= Mortalidad natural. a y b son los coeficientes de la relación peso-longitud. t_M = Longevidad, en meses. t_r = Edad de reclutamiento a la pesquería, en meses. La porción de adultos fue considerada como las edades 10, 11 y 12. La longitud es dada en centímetros y el peso en gramos (según Solís-Ramírez y Chávez, 1986 con modificaciones). El valor de M fue considerado bajo el criterio de que $M = k$ (según Chávez, 1995).

| k | - t_0 | L | W | M | a | b | t_M | t_r |
|--------|---------|----|------|------|--------|------|-------|-------|
| 0.2632 | 0.95 | 23 | 2864 | 0.26 | 0.0034 | 2.65 | 12 | 7 |

Tabla 2. Estadísticas de la captura de pulpo de la Sonda de Campeche (de los Estados de Campeche y Yucatán); coeficientes de mortalidad total (Z) y mortalidad por pesca (F). Se indican también los valores de la tasa de explotación (E), que se obtiene de la ecuación $E = F/Z [1 - e^{-(M+F)}]$, así como los números de adultos de 9 a 12 meses en la población, Ad(N9-12) (miles), así como el de reclutas de un mes de edad, N1 (miles), considerados para el período 1949-1994.

| Año | Miles de Kg | Z | F | E | Ad(N9-12) | N1 |
|------|-------------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| 1949 | 50 | 0.2651 | 0.0023 | 0.0020 | 7050 | 37259 |
| 1950 | 133 | 0.2653 | 0.0025 | 0.0022 | 15236 | 80607 |
| 51 | 133 | 0.2654 | 0.0026 | 0.0023 | 14670 | 77655 |
| 52 | 109 | 0.2655 | 0.0027 | 0.0024 | 11591 | 61394 |
| 53 | 70 | 0.2657 | 0.0029 | 0.0025 | 6946 | 36834 |
| 54 | 75 | 0.266 | 0.0032 | 0.0028 | 6764 | 35925 |
| 55 | 106 | 0.2666 | 0.0038 | 0.0033 | 8159 | 43485 |
| 56 | 101 | 0.2675 | 0.0047 | 0.0041 | 6127 | 32818 |
| 57 | 86 | 0.2687 | 0.0059 | 0.0052 | 4234 | 22831 |
| 58 | 109 | 0.2706 | 0.0078 | 0.0068 | 3988 | 21736 |
| 59 | 148 | 0.2731 | 0.0103 | 0.0090 | 4090 | 22604 |
| 1960 | 306 | 0.2815 | 0.0187 | 0.0163 | 6300 | 36495 |
| 61 | 414 | 0.2868 | 0.024 | 0.0209 | 6575 | 39236 |
| 62 | 442 | 0.2952 | 0.0324 | 0.0281 | 5107 | 31938 |
| 63 | 698 | 0.3091 | 0.0463 | 0.0398 | 6061 | 40963 |
| 64 | 431 | 0.2918 | 0.029 | 0.0252 | 3410 | 20924 |
| 65 | 1321 | 0.3207 | 0.0579 | 0.0495 | 7495 | 54025 |
| 66 | 1185 | 0.3334 | 0.0706 | 0.0600 | 5372 | 41554 |
| 67 | 1498 | 0.3479 | 0.0851 | 0.0719 | 5472 | 45862 |
| 68 | 1704 | 0.3641 | 0.1013 | 0.0849 | 5053 | 46314 |
| 69 | 2112 | 0.382 | 0.1192 | 0.0991 | 5127 | 51859 |
| 1970 | 1148 | 0.3469 | 0.0841 | 0.0711 | 3086 | 25726 |
| 71 | 2506 | 0.403 | 0.1402 | 0.1154 | 3709 | 42100 |
| 72 | 3471 | 0.423 | 0.1602 | 0.1306 | 4231 | 53576 |
| 73 | 1780 | 0.3593 | 0.0965 | 0.0811 | 4101 | 36606 |
| 74 | 3223 | 0.4558 | 0.193 | 0.1550 | 3163 | 47875 |
| 75 | 3459 | 0.4954 | 0.2326 | 0.1834 | 2498 | 46846 |
| 76 | 4157 | 0.5688 | 0.306 | 0.2334 | 1976 | 54891 |
| 77 | 6003 | 0.6453 | 0.3825 | 0.2818 | 1933 | 80394 |
| 78 | 2289 | 0.4322 | 0.1694 | 0.1375 | 2596 | 34559 |
| 79 | 6535 | 0.7128 | 0.4500 | 0.3218 | 1500 | 88713 |
| 1980 | 7173 | 0.7628 | 0.500 | 0.3498 | 1311 | 100300 |
| 81 | 7628 | 0.7953 | 0.5325 | 0.3673 | 1200 | 108403 |
| 82 | 7560 | 0.8219 | 0.5591 | 0.3812 | 1054 | 108986 |
| 83 | 7304 | 0.8024 | 0.5396 | 0.3710 | 1106 | 103603 |
| 84 | 5256 | 0.6513 | 0.3885 | 0.2855 | 1637 | 70279 |
| 85 | 6334 | 0.661 | 0.3982 | 0.2914 | 1859 | 83937 |
| 86 | 8933 | 0.667 | 0.4042 | 0.2950 | 2548 | 118714 |
| 87 | 7768 | 0.6718 | 0.409 | 0.2978 | 2087 | 99715 |
| 88 | 7869 | 0.6759 | 0.4131 | 0.3003 | 2143 | 104613 |
| 89 | 12241 | 0.678 | 0.4152 | 0.3015 | 3303 | 163011 |
| 1990 | 8657 | 0.68 | 0.4172 | 0.3027 | 2708 | 135011 |
| 91 | 9508 | 0.9528 | 0.4172 | 0.4449 | 749 | 149392 |
| 92 | 9073 | 0.9528 | 0.4172 | 0.4449 | 714 | 142392 |
| 93 | 9064 | 0.6759 | 0.4131 | 0.3003 | 2919 | 142492 |
| 94 | 11586 | 0.678 | 0.4152 | 0.3015 | 3676 | 181392 |

24 últimos años de historia de la pesquería, muestra una tendencia creciente en los niveles de reclutamiento, contrastante con una relativa estabilidad en la cantidad de adultos, pues sus valores oscilan entre 1 y 3 millones (cifras inferiores a los de los años iniciales de la pesquería), en cambio, los reclutas de un mes de edad muestran incrementos espectaculares que van de 25 a 88 millones durante el decenio de 1970 a 1979, aumentando a cifras que con tres excepciones, oscilan entre 100 y 180 millones después de 1980. Esto puede resultar desconcertante al tratar de establecer una correspondencia entre la cantidad de reproductores y la de los reclutas de un mes de edad en la temporada siguiente, pues si no se toma en cuenta el hecho de que se trata de una actividad cuya zona de pesca ha estado en expansión durante cerca de 25 años, se podría interpretar erróneamente que la pesca pudiese haber causado un efecto de poda que estimulase un aumento en los niveles de reclutamiento como consecuencia de progresivos incrementos en la intensidad de explotación. Empero, esto también podría aceptarse como un hecho si se considera la posibilidad de que la reducción en el número de adultos, como resultado de la presión de pesca, reduzca la presión de depredación, por canibalismo, así como también reduzca la competencia intraespecífica por recursos comunes (espacio y alimento), que propicien la supervivencia de los reclutas.

En la Fig. 2 se presentan los datos de captura calculados y los estimados mediante simulación. Para poder utilizar el modelo con fines de pronóstico, el último año de valores simulados se hizo coincidir con el número de reclutas de un mes de edad calculado directamente; de su observación se pone de manifiesto que el ajuste logrado entre los valores observados y los calculados es muy razonable. Los datos que sirvieron de base para la representación gráfica se presentan en la Tabla 2, donde se muestran los valores de la mortalidad total (Z), de la mortalidad por pesca (F), del número de

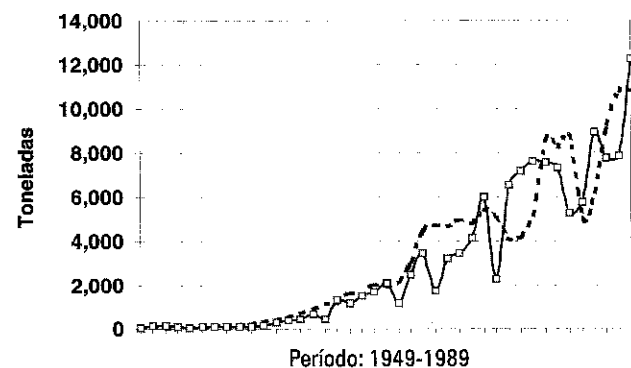


Figura 2. Registros históricos de la captura de pulpo en la Sonda de Campeche y el ajuste mostrado por los datos de la simulación.

Tabla 3. Estimaciones del esfuerzo de pesca (viajes diarios), captura por día, nivel del empleo, valor de la captura y costos de las actividades de pesca. Se presenta también una estimación de la tendencia de la razón B/C para el período 1949-1994. Los datos fueron calculados tomando como base la información de Solís-Ramírez y Chávez (1986) que presentan valores para el año de 1980, cuando 1 dólar= 25 pesos. El valor del coeficiente de capturabilidad inferido de esos datos es de $q=0.00000326$. El número medio de viajes durante cada temporada de pesca es de 61.4.

| Año | f Viajes de un día | Captura | | Valor | | Costos \$, mn Razón B/C | Año | f Viajes de un día | Captura | | Valor | | Costos \$, mn Razón B/C |
|------|--------------------------|---------|---------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------|--------------------------|---------|---------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | | Kg/Día | Empleos | Prod. mn\$ (miles) \$85/Kg | \$, mn \$3,736/Día | | | | Kg/Día | Empleos | Prod. mn\$ (miles) \$85/Kg | \$, mn \$3,736/Día | |
| 49 | 719 | 70 | 23 | 4250 | 2687 | 1.5817 | 72 | 49189 | 71 | 1602 | 295035 | 183763 | 1.6055 |
| 1950 | 757 | 176 | 25 | 11305 | 2829 | 3.9961 | 73 | 29632 | 60 | 965 | 151300 | 110701 | 1.3667 |
| 51 | 797 | 167 | 26 | 11305 | 2978 | 3.7962 | 74 | 59264 | 54 | 1930 | 273955 | 221402 | 1.2374 |
| 52 | 839 | 130 | 27 | 9265 | 3135 | 2.9553 | 75 | 71402 | 48 | 2326 | 294015 | 266748 | 1.1022 |
| 53 | 883 | 79 | 29 | 5950 | 3299 | 1.8036 | 76 | 93950 | 44 | 3060 | 353345 | 350984 | 1.0067 |
| 54 | 981 | 76 | 32 | 6375 | 3665 | 1.7394 | 77 | 117437 | 51 | 3825 | 510255 | 438728 | 1.1630 |
| 55 | 1154 | 92 | 38 | 9010 | 4311 | 2.0900 | 78 | 52018 | 44 | 1694 | 194565 | 194332 | 1.0012 |
| 56 | 1442 | 70 | 47 | 8585 | 5387 | 1.5937 | 79 | 138161 | 47 | 4500 | 555475 | 516151 | 1.0762 |
| 57 | 1802 | 48 | 59 | 7310 | 6732 | 1.0859 | 1980 | 153512 | 47 | 5000 | 609400 | 573500 | 1.0626 |
| 58 | 2402 | 45 | 78 | 9265 | 8974 | 1.0324 | 81 | 163490 | 47 | 5325 | 648380 | 610776 | 1.0616 |
| 59 | 3160 | 47 | 103 | 12580 | 11806 | 1.0656 | 82 | 171664 | 44 | 5592 | 642600 | 641313 | 1.0020 |
| 1960 | 5746 | 53 | 187 | 26010 | 21467 | 1.2116 | 83 | 165656 | 44 | 5396 | 620840 | 618868 | 1.0032 |
| 61 | 7367 | 56 | 240 | 35190 | 27523 | 1.2786 | 84 | 119272 | 44 | 3885 | 446760 | 445584 | 1.0026 |
| 62 | 9955 | 44 | 324 | 37570 | 37192 | 1.0102 | 85 | 122254 | 52 | 3982 | 538390 | 456724 | 1.1788 |
| 63 | 14222 | 49 | 463 | 59330 | 53133 | 1.1166 | 86 | 124088 | 72 | 4042 | 759305 | 463576 | 1.6379 |
| 64 | 8889 | 48 | 290 | 36635 | 33209 | 1.1032 | 87 | 125577 | 62 | 4090 | 660280 | 469139 | 1.4074 |
| 65 | 17778 | 74 | 579 | 112285 | 66417 | 1.6906 | 88 | 126833 | 62 | 4131 | 668865 | 473831 | 1.4116 |
| 66 | 21680 | 55 | 706 | 100725 | 80994 | 1.2436 | 89 | 127467 | 96 | 4152 | 1040485 | 476200 | 2.1850 |
| 67 | 26121 | 57 | 851 | 127330 | 97585 | 1.3048 | 1990 | 128104 | 68 | 4173 | 735845 | 478580 | 1.5376 |
| 68 | 31096 | 55 | 1013 | 144840 | 116171 | 1.2468 | 91 | 211847 | 95 | 6901 | 1714994 | 791433 | 2.1669 |
| 69 | 36584 | 58 | 1192 | 179520 | 136673 | 1.3135 | 92 | 211847 | 118 | 6901 | 2124230 | 791433 | 2.6840 |
| 1970 | 25824 | 44 | 841 | 97580 | 96475 | 1.0115 | 93 | 126832 | 115 | 4131 | 1238368 | 473828 | 2.6135 |
| 71 | 43040 | 58 | 1402 | 213010 | 160791 | 1.3248 | 94 | 127476 | 107 | 4152 | 1155738 | 476234 | 2.4268 |

reclutas de un mes y del número de adultos, estimados para cada año de la serie de datos de captura y en la Tabla 3 se presentan los valores estimados del esfuerzo de pesca expresado como días de pesca, de la captura diaria por bote, el número de pescadores empleados en la actividad (referidos a 1980, cuando el valor de la moneda era de \$ 25 pesos/ dólar); también se incluyen los valores de la razón B/C. La estructura de la población reconstruida a través de los años analizados, se representa en toneladas en la Fig. 3; de su observación se percibe un incremento brusco en el tamaño aparente de la población explotada, que obedece a cambios en la intensidad de pesca que se interpretan como reflejo de que el recurso aún se encuentra en etapa de pesca eumétrica, es decir, que la captura aumenta a consecuencia de los incrementos en el esfuerzo debido a la expansión gradual del área de pesca.

Captura óptima.

Al margen de lo cuestionable que puede ser el concepto de rendimiento máximo sostenible (RMS) en su sentido mas

tradicional, según lo han señalado Larkin (1977) y mas recientemente Hilborn y Walters (1992), su adopción en un sentido menos restringido se considera muy útil como definición de uso práctico, ya que hay por lo menos dos puntos de vista a considerar en relación con el mismo, el mas tradicional puede expresarse como la máxima cantidad de biomasa que puede ser extraída de las existencias del recurso de manera sostenible. Otro enfoque del mismo problema consiste en considerarlo desde el punto de vista del beneficio económico máximo y una manera de representarlo es a través de la razón B/C. La evaluación del impacto social, o sea el número de empleos, es una consideración adicional indispensable para la toma de decisiones en un marco de referencia integral. Con base en este criterio se hicieron las corridas del modelo proyectando la simulación a períodos de 20 años hacia el futuro a partir de los datos históricos; de este modo se muestra su comportamiento bajo dos intensidades de pesca, esto se hizo para reducir la incertidumbre sobre la

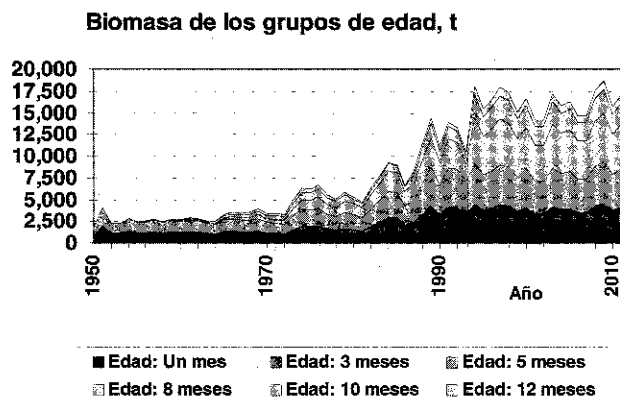


Figura 3. Biomasa de los grupos de edad de la población de *O. maya*. Los grupos representados son, de abajo hacia arriba, de 1, 3, 5, 8, 10 y 12 meses de edad.

estrategia más aconsejable a adoptar en la siguiente temporada de pesca, así como para valorar más apropiadamente la estabilidad del modelo y analizar su sensibilidad. La primera es la considerada como óptima, con valores de $F = 0.43$ (Fig. 4a), en este caso, la captura potencial es de 16,800 toneladas, la razón $B/C = 3.6$ y se generan 4,300 empleos; si se mantienen las condiciones actuales ($F = 0.42$), la captura es muy similar a la óptima, de 18,200 toneladas, la razón $B/C = 3.2$ y participan en la actividad 4,200 pescadores. Finalmente, el nivel de equilibrio económico, o sea aquel en el que $B/C \leq 1$ y que por lo mismo no permite que la pesca subsista, se alcanza a una intensidad de pesca de $F = 1.29$; en este caso el nivel de empleo potencial sería de 12,900 pescadores, el máximo que la pesquería podría soportar antes de una crisis económica.

Bajo este esquema operativo, incorporando los datos de captura registrados hasta el año de 1994 y haciendo los ajustes pertinentes a los parámetros, se hicieron simulaciones con una gran variedad de valores de f , encontrando que el rendimiento óptimo biológico (ROB) puede obtenerse con una mortalidad por pesca $F = 0.43$, con los que como se menciona en el párrafo anterior, es factible obtener la captura máxima que es de 18,200 toneladas (Fig. 5); en este caso la razón $B/C = 3.6$, cifra que podría considerarse la más adecuada desde el punto de vista económico, y que socialmente implica aumentar el nivel de empleo de 4,200 a 4,300 pescadores. Con intensidades de pesca inferiores a la actual es posible obtener valores más altos de la razón B/C , pero eso implica una reducción en el nivel del esfuerzo de pesca y por lo tanto en el empleo, por lo que se considera que esa opción como estrategia de pesca sería socialmente inadecuada.

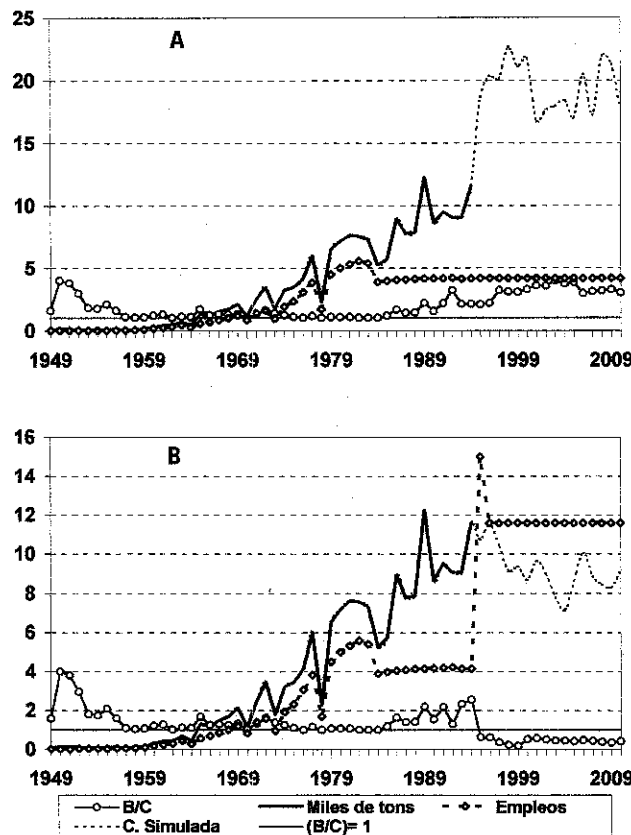


Figura 4. Tendencias históricas y simuladas en un horizonte de 20 años, de la captura de pulpo (miles de toneladas), de la razón Beneficio/Costo y del empleo (miles de pescadores), bajo un régimen de: a) la captura óptima, con una mortalidad por pesca de $F = 0.43$ y, b) bajo una intensidad de pesca hipotética de $F = 1.5$ que ocurre por debajo del nivel de equilibrio económico ($B/C < 1.0$), en el que se pone en evidencia el colapso de la pesquería desde los puntos de vista biológico, económico y social. En ambos casos se indica el nivel de equilibrio económico, en forma de una línea horizontal cerca de la base, como un indicador de riesgo.

Opciones de manejo

El análisis de la dinámica de la población muestra un comportamiento inesperado en el nivel de reclutamiento como resultado de ulteriores incrementos en el esfuerzo de pesca. Esto se atribuye al hecho de que durante la etapa de crecimiento eumétrico de la pesquería, nuevas áreas han sido abiertas a la pesca y por esta razón la relación parentela-progenie es muy atípica. Esto hace suponer que no se ha explotado aún todo el recurso, pues la evidencia hace sospechar que aún quedan áreas sin explotar en la porción norte de la Sonda de Campeche, las más profundas y alejadas de la costa. Esto hace suponer la posibilidad de que la pesquería pueda soportar aún ulteriores incrementos en el nivel de esfuerzo, al abrir nuevas áreas a la explotación,

los que bajo la consideración antes señalada, no pueden ser pronosticados por el modelo. Por lo tanto y como solución de compromiso, la estrategia de explotación que en el mejor de los casos se puede aconsejar a partir del modelo y en el marco de referencia en el que fue desarrollado, es evaluar el valor de ROB con el nivel de reclutamiento máximo que la serie de datos históricos considera y que corresponde a un valor de $F = 0.43$.

DISCUSIÓN

El análisis de Sensibilidad.

Uno de los problemas que los modelos aplicados a la biología pesquera afronta es el relativo al análisis de sensibilidad y a la ulterior validación de los modelos de simulación. Este tipo de análisis mostró que el modelo de reclutamiento y los valores de sus parámetros son los factores claves, determinantes de un buen ajuste de los valores simulados con respecto a los datos históricos de la captura. Es reconocido que la fuente mas importante de variabilidad es generada por la relación parentela-progenie y en estos casos la simulación de Monte Carlo es una herramienta muy adecuada para realizar dicho tipo de análisis, ya que permite examinar la naturaleza y magnitudes de las incertidumbres en los datos para formular los modelos (Restrepo *et al.*, 1992), pues los propósitos de administración de una cierta pesquería pueden no ser factibles de alcanzarse si no se tiene una estimación mínima de la incertidumbre con respecto a los resultados de las evaluaciones, por lo cual el análisis de sensibilidad se aconseja en estos casos para dar validez a los modelos (Miller, 1974). Su aplicación también permite evaluar diferentes tipos y niveles de error en los resultados, a partir de valores de error predeterminados en los datos de entrada (Restrepo y Fox, 1988). Estas consideraciones se vuelven aspectos críticos en el momento en que los resultados del proceso de evaluación se ponen en manos de los administradores de los recursos con la intención de aplicar medidas regulatorias derivadas de estas evaluaciones; esto resulta muy riesgoso si no se tiene una idea aproximada de la incertidumbre inherente en los valores de los parámetros estimados.

Criterios Para la Administración del Recurso.

La gestión pesquera debe orientarse a garantizar la rentabilidad económica de la explotación de manera sostenible para asegurar su persistencia como actividad económica (Walter, 1986). Es de llamar la atención el significativo aumento exponencial del esfuerzo que ha tenido lugar en esta pesquería, cuya operación con frecuencia se aproxima al nivel de equilibrio económico. En estas

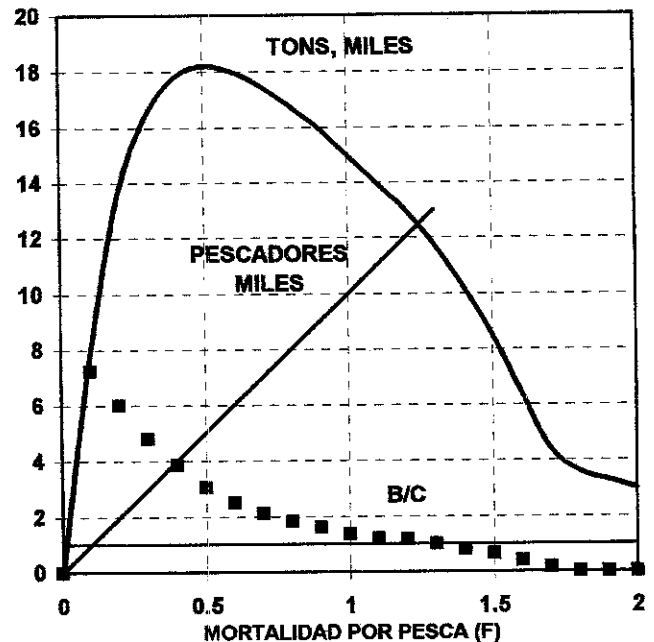


Figura 5. Datos generados por simulación que muestran las consecuencias a largo plazo en los niveles de captura, en la razón B/C y en el nivel de empleo como consecuencia de la aplicación de múltiples valores de la mortalidad por pesca. La pesquería deja de funcionar como actividad económica en el momento en que la razón B/C llega al nivel de equilibrio ($B/C = 1$); por lo tanto los valores de la recta del empleo en niveles de $F \geq 1.29$, ya no son válidos, pues son inaplicables en la práctica y por lo tanto la línea queda truncada en ese nivel.

circunstancias, resulta un poco difícil de aplicar en la práctica, disposiciones tendientes a regular el acceso al recurso de modo estacional como lo proponen Díaz-de-León y Seijo (1992), cuando la emisión de un cierto número de permisos de pesca, válidos para toda la temporada, puede ser una medida mas fácil de aplicar como estrategia de regulación del acceso al recurso, que está aún insuficientemente definido.

La disponibilidad de los recursos impone un límite a la intensidad del esfuerzo de pesca que puede ser aplicable. Por otra parte, el concepto de nivel de rendimiento máximo sostenible (RMS), en su sentido mas tradicional es en cierto modo sinónimo del de rendimiento óptimo biológico (ROB) y con frecuencia se alcanza a niveles mayores de esfuerzo que el requerido para lograr niveles adecuados del rendimiento económico ($B/C > 1$), para los que no existe un valor óptimo (véase Fig. 5). Es frecuente, sin embargo, que se den situaciones en las que el nivel de ROB se logra en un amplio margen de valores del esfuerzo bajo condiciones económicamente aceptables ($B/C \geq 1$) y en

esas circunstancias las políticas de explotación pesquera pueden ser más fáciles de aplicar dentro de ese margen de seguridad y por la significativa reducción del riesgo de incurrir en situaciones socialmente conflictivas.

El análisis de la pesquería de pulpo de la Sonda de Campeche señala que ambas estrategias de explotación pueden adoptarse como objetivos de la administración del recurso, pero no de manera simultánea. Desde el punto de vista económico, la meta de explotar el recurso en niveles de $B/C \geq 1$ puede considerarse tal vez como la más saludable para la pesquería, pues está menos expuesta a riesgos como el de un reclutamiento escaso que pueda ser provocado por la variabilidad climática. La estrategia que adopte el nivel de ROB como meta de explotación, no implica una reducción en el empleo, pero es ligeramente más susceptible a cambios climáticos desfavorables que afecten la tasa de reclutamiento, aunque la probabilidad de incurrir en crisis económicas indeseables se vislumbra como poco probable en el futuro cercano.

Considerar la posibilidad de identificar el nivel de explotación que produzca el máximo beneficio social se considera como un ejercicio inútil, pues esta característica se comporta como una variable dependiente de las otras dos estrategias de pesca antes señaladas. Por lo tanto, cualquier incremento en el nivel del esfuerzo por encima de los requeridos para el nivel de ROB como política de explotación a adoptar, significaría orientar la actividad hacia una crisis económica. Esto no es un obstáculo para tomar en cuenta explícitamente el beneficio social que implica la adopción de cualquier otra estrategia de administración de la pesquería, mientras ocurra en niveles de esfuerzo inferiores a los requeridos para lograr el de ROB. Con estas consideraciones se espera que los resultados derivados de este trabajo aporten las bases adecuadas para que el proceso de la toma de decisiones en la administración de la pesca del pulpo de la Sonda de Campeche esté orientada hacia la administración óptima del recurso.

CONCLUSIONES

El nivel de ROB se alcanza con el mismo nivel de esfuerzo que el requerido para el rendimiento económico más aceptable. Esta opción se lograría con un ligero incremento en el nivel de explotación, pasando de $F = 0.42$ a $F = 0.43$ y puede generar 100 nuevos empleos directos.

La opción para el ROB como estrategia de administración, es adecuada, aunque opera más cerca del nivel de equilibrio económico y por lo mismo estaría ligeramente más expuesta a cambios ambientales indeseables. Las tendencias actuales del crecimiento de la intensidad de la explotación

mantienen la actividad en una situación económica saludable; sin embargo, deben evitarse incrementos drásticos en el número de permisos de pesca que operen dentro de la actual zona de pesca, para evitar el riesgo de una crisis económica en la pesquería.

El mantener los actuales niveles del esfuerzo de pesca, es una opción factible de considerar, pues no afecta el nivel de empleo, aseguraría la permanencia de los actuales rendimientos y mantendría la rentabilidad económica en un nivel aceptable.

AGRADECIMIENTOS

A dos revisores anónimos se agradecen sus sugerencias y observaciones por haber realizado la revisión del manuscrito. El autor es becario de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del I. P. N.

REFERENCIAS

- ARREGUÍN-SÁNCHEZ, F., 1992. Growth and seasonal recruitment of the octopus *Octopus maya* from the Campeche Bank caught by the artisanal fleet. *ICLARM Naga* 15(2): 31-34.
- CHÁVEZ E. A., 1994. Simulación de la pesquería de sierra (*Scomberomorus maculatus*) del Golfo de México. *Revista de Investigaciones Marinas* 15(3): 209-217.
- CHÁVEZ, E. A., 1995. Mortalidad natural y sus relaciones con la tasa de crecimiento y la longevidad. *Jaina* 6(2): 3.
- CHÁVEZ E. A., 1996. Simulating fisheries for the assessment of optimum harvesting strategies. *ICLARM Naga* 19(2):33-35.
- CHÁVEZ, E. A. y F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, 1994. Simulation modelling for conch fishery management. En: R. APPELDOORN y B. RODRÍGUEZ (eds.). *Queen conch biology, fisheries and mariculture*. Fundación Científica Los Roques, Venezuela.
- CHÁVEZ, E. A. y F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, 1995. Optimizing yields of the king mackerel (*Scomberomorus cavalla*) fishery in the western and southern Gulf of Mexico. *Scientia Marina* 59(3-4): 629-636.
- CRUZ-ROMERO, M., E. A. CHÁVEZ, E. ESPINO y A. GARCÍA, 1996. Stock assessment of a snapper complex (*Lutjanus* spp.) of the eastern tropical Pacific. pp: 330-336. En: F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, J. L. MUNRO, M. BALGOS y D. PAULY (eds.). *Biology, Fisheries and Culture of Tropical Groupers and Snappers*. *ICLARM Conference Proceedings* No. 48.
- DÍAZ-DE-LEÓN, A. J. y J. C. SEJO, 1992. A multi-criteria non-linear optimization model for the control and management of a tropical fishery. *Marine Resource Economics*, 7: 23-40.

- HILBORN, R. y C. J. WALTERS, 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Chapman & Hall, Nueva York.
- LARKIN, P. A., 1977. An epitaph for the concept of maximum sustained yield. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106:1-11.
- LUDWIG, D. y C. J. WALTERS, 1985. Are age structured models appropriate for catch-effort data? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1066-1072.
- MILLER, D. R., 1974. Sensitivity analysis and validation of simulation models. *J. Teor. Biol.* 48: 345-360.
- PAULY, D., 1980. A new methodology for rapidly acquiring basic information on tropical fish stocks: growth, mortality, and recruitment relationships. En: S. SAILA y P. ROEDEL (eds.). *Stock Assessment of Tropical small-scale fisheries*. Univ. Rhode Island. Intern. Center Mar. Res. Development, 198 p.
- RESTREPO, V. R. y W. W. FOX, 1988. Parameter uncertainty and simple yield-per recruit analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.* 117: 282-289.
- RESTREPO, V. R., J. M. HOENIG, J. E. POWERS, J. W. BAIRD y S. C. TURNER, 1992. A simple simulation approach to risk and cost analysis, with applications to sword and cod fisheries. *Fishery Bulletin* 90: 736-748.
- RICKER, W. E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of Fish populations. *Fisheries Research Board of Canada*. Bulletin 191.
- RUIZ-RENTERÍA, F. y M. MERINO-IBARRA, 1989. Upwelling off the coast of the Yucatan peninsula. pp. 149-160. En: E. A. CHÁVEZ (ed.) *Proceedings of the Workshop Mexico-Australia on Marine Sciences*, CINVESTAV Yucatán, México.
- SELJO, J. C., M. SOLÍS-RAMÍREZ y G. MORALES, 1987. Simulación bioeconómica de la pesquería de pulpo (*O. maya*) de la plataforma continental de Yucatán. pp: 125-137. En: M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ (ed.). *Simposium sobre la investigación de biología y oceanografía pesqueras en México*. CICIMAR, México.
- SOLÍS-RAMÍREZ, M. y E. A. CHÁVEZ, 1986. Evaluación y régimen óptimo de pesca del pulpo en la península de Yucatán, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México 13(3): 1-18.
- WALTER, G. G., 1986. A robust approach to equilibrium yield curve. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43(7): 1332-1339.

Recibido: 24 de noviembre de 1997.

Aceptado: 30 de junio de 1998.